

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**Faculdade de Engenharia Agrícola**

**ESPACIALIZAÇÃO DE DUAS MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS DO  
RIO PIRACICABA PARA MODELAGEM HIDROLÓGICA**

**MÁRCIA HEIN**

**Orientador: Prof. Dr. José Teixeira Filho**

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, na área de concentração “Água e Solo”.

Campinas, novembro de 2000

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

H364e      Hein, Márcia  
Espacialização de duas microbacias hidrográficas do  
Rio Piracicaba para modelagem hidrológica / Márcia  
Hein.--Campinas, SP: [s.n.], 2000.

Orientador: José Teixeira Filho  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Bacias hidrográficas. 2. Hidrologia – Modelos.  
I. Teixeira Filho, José. II. Universidade Estadual de  
Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III.  
Título.

Para a pessoa [para quem o valor máximo é o desenvolvimento ótimo da capacidade de razão, amor, compaixão, coragem], o único fim é o homem, que jamais representa um meio. Toda a sua atitude para com a vida é uma atitude na qual cada acontecimento encontra uma reação baseada na possibilidade de ajudar ou não a transformar o homem no sentido de tornar-se mais humano. Quer seja arte ou ciência, alegria ou dor, trabalho ou diversão, tudo o que acontece é um estímulo para que ele se torne mais forte e mais sensível. Esse processo de constante transformação interior e de tornar-se parte do mundo no ato de viver é a meta a que se subordinam todas as outras. O homem não é um sujeito oposto ao mundo para transformá-lo; ele está no mundo, fazendo de sua existência *no* mundo a ocasião de uma autotransformação constante. Daí o mundo (homem e natureza) não constituir um objeto em oposição a ele, mas o meio pelo qual ele descobre sua própria realidade e a do mundo, com uma profundidade ainda maior.

*Erich Fromm*

Por mais abundante que seja a água, não deveis desperdiçá-la. Metade deve ser ofertada aos outros seres vivos. [Aprendeis] a não desprezar o valor de uma simples gota d'água ou de um insignificante grão de arroz.

*Mestre Dooguen (1200 – 1253)*



## **Agradecimentos**

Àqueles que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho, agradeço.

A meus pais, Noemia e Eliazar, por serem os alicerces de tudo o que sou;

A Marcelo, meu irmão, e a sua família, pelo apoio e estímulo constantes;

A meu orientador, José Teixeira Filho, por sua paciência e incentivo e pela confiança que depositou em mim;

A Marcos Antonio dos Santos, Paulo Ricardo, Robison Orsini e João Evaristo Bergamo, por seu tempo e colaboração na elaboração das cartas;

A Tânia Maria Nicoletti, do Instituto Agronômico de Campinas, pela ajuda na obtenção de fotografias aéreas;

A Carlos Roberto Espíndola, professor do Departamento de Água e Solo da FEAGRI e membro do comitê de orientação deste projeto, pelo auxílio no levantamento pedológico;

A Sérgio Lopes, pela colaboração na execução do trabalho de campo;

A Suzely Francisco, secretária do Departamento de Água e Solo da FEAGRI, e a Ana Paula Montanher, secretária da Pós Graduação da FEAGRI, pelo suporte administrativo;

À FEAGRI, seus docentes e funcionários, pelo apoio necessário à realização do trabalho;

À FAPESP-Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão da bolsa de estudos;

À FINEP, pelo financiamento do projeto a que este trabalho se vincula;

A Camila, amiga de todos os momentos, por sua ajuda constante e por estar sempre presente;

Aos amigos Sara, Daniela, Lucia, Rojane, Fernando, Jorge, Marcellus, Osvaldino e Ademir pelo companheirismo e por toda ajuda.



## RESUMO

Esquemas de divisão espacial foram aplicados a duas microbacias pertencentes à Bacia do rio Piracicaba. As microbacias localizam-se no município de Limeira, no Estado de São Paulo e apresentam cobertura vegetal predominante de cana-de-açúcar e citros. Estudos que envolvem recursos hídricos são executados preferencialmente na escala de bacias hidrográficas. Os modelos de simulação representam ferramenta fundamental no estabelecimento do balanço hidrológico em bacias hidrográficas. Esses modelos permitem estimar possíveis impactos sobre o meio ambiente provocados por alterações na superfície do solo, especialmente em áreas agrícolas. Os modelos distribuídos têm sido considerados mais adequados para avaliar processos hidrológicos por considerarem a distribuição espacial das características físicas da bacia. O esquema espacial dos modelos hidrológicos pode ser baseado em malhas regulares, malhas não regulares seqüenciais, toposeqüências, sub-bacias e planos vertentes. Neste trabalho foram aplicados esquemas espaciais de malhas regulares, sub-bacias e planos vertentes às duas microbacias em estudo. A Bacia I, com área de 4,6km<sup>2</sup>, tem cobertura vegetal predominante de cana-de-açúcar, enquanto a Bacia II, com 0,9km<sup>2</sup>, apresenta cultivo de cana-de-açúcar e citros. Os resultados mostraram que o esquema que melhor representa as características físicas das bacias foi o de planos vertentes, por permitir melhor representação do relevo e possibilitar maior homogeneidade de solos e usos do solo para as bacias estudadas.





## **ABSTRACT**

Different approaches of catchment partitioning were applied to 2 small catchments of river Piracicaba catchment, located in São Paulo state. The catchments are cultivated with sugar cane and orange. Studies of hydrologic resources are accomplished preferably at the catchment scale. Hydrologic models are an important tool for the establishment of water balance in catchments. These models make it possible to estimate impacts of changes of the soil surface over natural resources, specially in agricultural areas. Distributed models have been considered more adequate because they take account of the spatial variability of physical characteristics of catchments. Distributed models can partition a catchment in grid cells, triangular irregular networks, hillslopes, subcatchments or using a topographic index. The approaches of grid cells, subcatchments and hillslopes were applied to a catchment with 4,6km<sup>2</sup>, covered mainly with sugar cane, and to another catchment with 0,9km<sup>2</sup>, covered with sugar cane and orange. Results showed that the best approach for representing the physical features of the catchments was the hillslope partitioning.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do município de Limeira no Estado de São Paulo	p. 47
Figura 2 – Carta de altitudes – Bacia I	p. 53
Figura 3 – Carta de altitudes – Bacia II	p. 53
Figura 4 – Carta de orientação dos terrenos – Bacia I	p. 57
Figura 5 – Carta de orientação dos terrenos – Bacia II	p. 57
Figura 6 – Carta de inclinação dos terrenos – Bacia I	p. 59
Figura 7 – Carta de inclinação dos terrenos – Bacia II	p. 59
Figura 8 – Carta de solos – Bacia I	p. 63
Figura 9 – Carta de uso do solo – Bacia I – 1998	p. 65
Figura 10 – Carta de uso do solo – Bacia II – 1998	p. 65
Figura 11 – Bacia I – Dois planos vertentes	p. 71
Figura 12 – Bacia I – Quatro sub-bacias	p. 71
Figura 13 – Bacia I – Oito planos vertentes	p. 71
Figura 14 – Bacia II – Dois planos vertentes	p. 73
Figura 15 – Bacia II – Cinco sub-bacias	p. 73
Figura 16 – Bacia II – Dez planos vertentes	p. 73
Figura 17 – Bacia II – Malhas regulares – 30m × 30m	p. 75
Figura 18 – Bacia II – Malhas regulares – 10m × 10m	p. 75
Figura 19 – Bacia II – Malhas regulares – 5m × 5m	p. 75
Figuras do Apêndice A	p. 119
Figuras do Apêndice B	p. 123
Figuras do Apêndice C	p. 137
Figuras do Apêndice D	p. 143
Figuras do Apêndice E	p. 153

Figuras do Apêndice F	p. 157
Figuras do Apêndice G	p. 171
Figuras do Apêndice H	p. 189
Figuras do Apêndice I	p. 195
Figuras do Apêndice J	p. 221
Figuras do Apêndice L	p. 229

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Distribuição de frequências de altitude – Bacia I _____	p. 55
Quadro 2 - Distribuição de frequências de altitude – Bacia II _____	p. 55
Quadro 3 – Relevo – Inclinação - Ocupação percentual da área – Bacia I _____	p. 87
Quadro 3 - Relevo – Inclinação - Ocupação percentual da área – Bacia I - cont. _____	p.88
Quadro 3 - Relevo – Inclinação - Ocupação percentual da área – Bacia I – cont. _____	p. 89
Quadro 4 - Relevo – Orientação - Ocupação percentual da área – Bacia I _____	p. 90
Quadro 4 - Relevo – Orientação - Ocupação percentual da área – Bacia I – cont. _____	p. 91
Quadro 4 - Relevo – Orientação - Ocupação percentual da área – Bacia I – cont. _____	p. 92
Quadro 5 – Solos - Ocupação percentual da área – Bacia I _____	p. 93
Quadro 6 – Cobertura vegetal – Ocupação percentual da área – Bacia I _____	p. 94
Quadro 6 - Cobertura vegetal – Ocupação percentual da área – Bacia I – cont. _____	p. 95
Quadro 6 - Cobertura vegetal – Ocupação percentual da área – Bacia I – cont. _____	p. 96
Quadro 7 - Relevo – Inclinação - Ocupação percentual da área – Bacia II _____	p. 97
Quadro 8 - Relevo – Orientação - Ocupação percentual da área – Bacia II _____	p. 98
Quadro 9 - Cobertura vegetal – Ocupação percentual da área – Bacia II _____	p. 99
Quadros do Apêndice B _____	p. 123
Quadros do Apêndice L _____	p. 229



## SUMÁRIO

<b><i>I – INTRODUÇÃO</i></b>	<b><i>1</i></b>
<b><i>II – OBJETIVO</i></b>	<b><i>3</i></b>
<b><i>III – REVISÃO DA LITERATURA</i></b>	<b><i>5</i></b>
2.1 – Recursos hídricos e sustentabilidade	5
2.2 – Bacia do rio Piracicaba	9
2.2.1 – Cultura de cana-de-açúcar	9
2.2.2 – Citricultura	11
2.3 – Estudo e modelagem hidrológica	13
2.3.1 – Aplicações da modelagem hidrológica	17
<b><i>IV - MATERIAL E MÉTODO</i></b>	<b><i>47</i></b>
4.1 – Localização das microbacias hidrográficas	47
4.2 – Modelo numérico de terreno e cartas de geomorfologia	48
4.3 – Cartas de solos	48
4.4 – Cartas de uso e ocupação do solo	48
4.5 – Esquemas de distribuição espaciais aplicados em hidrologia	49
<b><i>V – RESULTADOS</i></b>	<b><i>51</i></b>
5.1 – Relevo	51
5.1.1 – Cartas de altitude	51
5.1.2 – Cartas de orientação dos terrenos	51
5.1.3 – Cartas de inclinação dos terrenos	52
5.2 – Solos	61
5.3 – Uso e ocupação do solo	62
5.3.1 – Bacia I	67
5.3.2 – Bacia II	67
5.4 – Esquemas espaciais	67
5.4.1 – Malhas regulares	68
5.4.2 – Sub-bacia	68
5.4.3 – Planos vertentes	69
5.5 – Comparação dos esquemas espaciais com as cartas temáticas - sub-bacias	77
5.5.1 – Bacia I	77
5.5.1.1 – Relevo	77
5.5.1.2 – Solos	77

5.5.1.3 – Uso e ocupação	78
5.5.2 – Bacia II	79
5.5.2.1 – Relevo	79
5.5.2.2 – Uso e ocupação	79
<b>5.6 – Comparação dos esquemas espaciais com as cartas temáticas - planos vertentes</b>	<b>80</b>
5.6.1 – Bacia I	80
5.6.1.1 – Relevo	80
5.6.1.2 – Solos	81
5.6.1.3 – Uso e ocupação do solo	82
5.6.2 – Bacia II	83
5.6.2.1 – Relevo	83
5.6.2.2 – Uso e ocupação do solo	84
<b>VI - DISCUSSÃO</b>	<b>101</b>
<b>VII – CONCLUSÃO</b>	<b>109</b>
<b>VIII - BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b>	<b>111</b>
<b>APÊNDICE A</b>	<b>119</b>
<b>APÊNDICE B</b>	<b>123</b>
<b>APÊNDICE C</b>	<b>137</b>
<b>APÊNDICE D</b>	<b>143</b>
<b>APÊNDICE E</b>	<b>153</b>
<b>APÊNDICE F</b>	<b>157</b>
<b>APÊNDICE G</b>	<b>171</b>
<b>APÊNDICE H</b>	<b>189</b>
<b>APÊNDICE I</b>	<b>195</b>
<b>APÊNDICE J</b>	<b>221</b>
<b>APÊNDICE L</b>	<b>229</b>



## I – INTRODUÇÃO

A degradação dos recursos naturais, principalmente do solo e da água, vem crescendo e atinge hoje níveis críticos que se refletem na deterioração do meio ambiente, no assoreamento e na poluição dos cursos e corpos d'água, com prejuízos para a saúde humana, para a economia e para a sociedade. Ficam comprometidas a geração de energia, a disponibilidade de água para irrigação e para abastecimento e a redução da produtividade agrícola. Os trabalhos de manejo do solo e da água devem ser baseados em uma visão ampla do todo, ou seja, considerando de forma integrada as relações entre os recursos naturais.

A microbacia hidrográfica, unidade básica das atividades, é entendida como uma área fisiográfica drenada por um curso d'água ou por um sistema de cursos de água conectados e que convergem, direta ou indiretamente, para um leito ou para um espelho d'água, constituindo uma unidade ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais no meio ambiente por ela definido (BRASIL, 1986). Os trabalhos em microbacias hidrográficas pretendem integrar os interesses de todos os segmentos da sociedade em termos de abastecimento, saneamento, habitação, lazer, proteção e conservação do meio ambiente, produtividade, elevação da renda e bem estar de toda a comunidade (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

As escalas envolvidas dentro dos objetivos de gestão, manejo e proteção de recursos naturais, em especial os recursos hídricos, em zonas cultivadas, são desenvolvidas em bacias hidrográficas. As bacias hidrográficas podem ser consideradas como a escala de diagnóstico em termos de qualidade e quantidade de água. Nesse nível tem-se a formação dos recursos hídricos, assim como a integração das variabilidades do meio e dos mecanismos hidrológicos. A maioria dos sistemas hidrológicos é extremamente complexa, e não se pode esperar compreendê-la em detalhe. Assim, a abstração é necessária para entender ou controlar alguns aspectos do seu comportamento. Abstração consiste na substituição do sistema em consideração por um modelo de estrutura similar porém mais simples. O propósito básico de um modelo é simular e prever a operação do sistema e os efeitos de alterações do sistema sobre essa operação (SINGH, 1988).

A modelagem pode ser utilizada para descrever processos em bacias hidrográficas. À medida que aumenta a grandeza espacial há a possibilidade de ocorrer variações nas características internas da bacia, devendo-se levar em consideração a distribuição espacial desses aspectos. Outro aspecto relevante encontra-se relacionado com as categorias de uso do solo, que são fatores influenciando nas características hidrológicas. Os modelos que ignoram as variações

espaciais dos parâmetros no interior do sistema são designados como de parâmetros genéricos. Os modelos de parâmetros distribuídos levam em consideração as variações espaciais do comportamento do processo no interior do sistema. Modelos baseados em características físicas têm sido empregados na simulação de bacias hidrográficas, em particular na predição dos níveis de água, que desempenham importante papel na produção agrícola. Uma boa estimativa do fluxo de saída de uma bacia pode ser obtido mesmo com simples modelos do tipo “caixa-preta”, mas a simulação mais adequada do comportamento conjunto dos sistemas de água superficial e do aquífero não podem ser obtidos a menos que a simulação seja realizada em uma base física (AL-SOUFI, 1987).

Uma grande variedade de modelos distribuídos tem sido desenvolvida para simulação dos processos hidrológicos que ocorrem em bacias hidrográficas, bem como para analisar os efeitos de alterações, especialmente com relação ao uso do solo, sobre a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos. Para utilização dos modelos distribuídos, é necessário dividir a área em estudo em unidades menores, que terão seus parâmetros físicos determinados e empregados como entradas dos modelos. Parâmetros físicos como relevo, tipo de solo e cobertura vegetal exercem influência na dinâmica da água em bacias hidrográficas. Assim, tais parâmetros devem ser determinados para cada unidade espacial. Vários esquemas espaciais podem ser empregados em modelagem hidrológica. Os mais utilizados são os esquemas de malhas regulares, que têm como base a malha formada pela resolução do modelo numérico de terreno, malhas irregulares triangulares, sub-bacias e planos vertentes.

## **II - OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho foi estudar as características do meio físico de duas microbacias hidrográficas da bacia do rio Piracicaba, com cobertura vegetal predominante de cana-de-açúcar e citros, para determinação do esquema espacial mais adequado para representar os parâmetros físicos necessários a uma eventual modelagem hidrológica distribuída daquelas microbacias. A partir de cartas planialtimétricas, fotografias aéreas e investigação de campo foram obtidos o modelo numérico de terreno, além de cartas temáticas da bacia, como as cartas de relevo, solo e vegetação. Foram analisados os esquemas espaciais de malhas regulares, com três resoluções de malha, de sub-bacias e de planos vertentes.



### III – REVISÃO DA LITERATURA

A água é um recurso natural, e sua renovação é garantida pelos processos físicos do ciclo hidrológico. No entanto, essa renovabilidade pode ser comprometida de acordo com a utilização do recurso. Assim, TILTON e SKINNER (1987) substituem os termos *renovável* e *não renovável* por *sustentável* e *não sustentável*. O fato de um recurso ser renovável não garante que ele não se esgote, da mesma forma que um recurso não renovável não está necessariamente sujeito à exaustão. A questão da disponibilidade de recursos está mais relacionada a custos do que à exaustão propriamente. Também os recursos sustentáveis – água e solo, por exemplo - poderão estar sujeitos a limitação caso os custos de provisão de suprimentos adicionais se elevem. Ainda segundo os autores, é importante observar que a ameaça ao bem estar humano, associada à exaustão de recursos, é mais importante com relação a água e solo do que a energia e minerais. A escassez daqueles representaria um desafio mais imediato às sociedades, pelo menos em muitas regiões do mundo.

#### **2.1 – Recursos hídricos e sustentabilidade**

O conceito de desenvolvimento sustentável, difundido a partir da divulgação do relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (ONU, 1991), baseia-se no atendimento às necessidades humanas fundamentais, sendo que as estratégias adotadas com relação ao meio ambiente e desenvolvimento devem levar em conta os interesses não apenas desta, mas também os das futuras gerações. O desenvolvimento humano leva em consideração, portanto, que aquelas necessidades sejam satisfeitas, e que isto ocorra de maneira sustentável.

Se o desenvolvimento sustentável relaciona-se ao atendimento de necessidades, cabe estabelecer quais são as necessidades humanas fundamentais e se os sistemas econômicos e sociais existentes têm servido a este propósito. As necessidades básicas das pessoas não são exclusivamente materiais, no entanto deve estar garantida, em primeiro lugar, a necessidade de subsistência (MAX-NEEF, ANTONIO e HOPENHAYNE, 1991). Do consumo de água depende diretamente a sobrevivência de todos os seres vivos.

No entanto observa-se que uma grande parcela da população mundial sequer tem atendidas as mínimas necessidades que a permitam subsistir. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) adotado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD),

baseado em dados de 1997 e divulgado oficialmente em julho de 1999, é calculado a partir de indicadores de educação (alfabetização e taxa de matrícula), saúde (esperança de vida) e renda (PIB per capita). Este índice, associado ao Índice de Pobreza Humana, pode fornecer uma idéia razoável sobre as condições de vida das populações, com relação a seus aspectos materiais. O Índice de Pobreza Humana (IPH) considera a porcentagem da população que não chegará aos 40 anos, a taxa de analfabetismo e a porcentagem da população sem acesso a serviços de saúde, esgoto e água potável. Entram no cálculo, ainda, a porcentagem de crianças com menos de 5 anos com peso abaixo do esperado, a distribuição de renda e a porcentagem da população que se encontra abaixo da linha de pobreza. O acesso à água potável, portanto, reflete-se na esperança de vida das populações, entrando no cálculo dos indicadores de saúde das nações, de acordo com a metodologia adotada pela ONU. Mas não é apenas nesse ponto que reside a importância dos recursos hídricos para o desenvolvimento sustentável.

GOODLAND (1994) afirma que há três tipos de sustentabilidade: social, econômica e ambiental. A sustentabilidade social tem como principal objetivo a redução da pobreza. Entretanto, isso não será conseguido estendendo o padrão de consumo de alguns para todos. A redução da pobreza é atingida mais pelo desenvolvimento qualitativo, redistribuição e partilha e pela estabilidade populacional do que pelo crescimento quantitativo. A sustentabilidade econômica pressupõe que o desenvolvimento suplante o crescimento. No desenvolvimento sustentável o crescimento não deve ir além da capacidade de suporte do ambiente, então os padrões de consumo e poluição dos países ricos não podem ser generalizados.

A sustentabilidade ambiental se preocupa com o bem estar do homem ao se preocupar com a proteção dos materiais necessários ao atendimento das necessidades humanas e com que os resíduos produzidos pelo homem não venham a prejudicá-lo. O homem precisa aprender a viver com as limitações do meio físico.

Os recursos hídricos se relacionam com os três aspectos da sustentabilidade apontados por GOODLAND (1994). Baixa disponibilidade de água, seja quantitativa ou qualitativamente, afeta diretamente a sobrevivência dos ecossistemas e das populações humanas.

Nos ecossistemas produtivos, relacionados à produção agrícola e florestal, pode-se analisar se os parâmetros de sustentabilidade estão sendo contemplados tomando-se como base o balanço hídrico das bacias hidrográficas (SALATI *et al.*, 1999).

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, estimulado pela energia solar associada à força da gravidade e ao movimento de rotação da terra. As trocas entre as superfícies terrestre e atmosférica, fechando o ciclo hidrológico, ocorrem tanto no sentido superfície-atmosfera, em que o fluxo de água se dá fundamentalmente na forma de vapor, em decorrência dos fenômenos de evaporação e transpiração, como no sentido atmosfera-superfície, em que a transferência de água ocorre mais significativamente na forma de precipitações de chuva e neve (SILVEIRA, 1993). O ciclo hidrológico é fechado apenas em nível global. À medida que se considere áreas de drenagem menores, o ciclo hidrológico fica caracterizado como aberto em nível local. A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. Compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar um leito único no exutório. A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico, em que a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório (SILVEIRA, 1993). À quantificação da relação entre a quantidade de água que entra no sistema hidrológico e a que sai dele denomina-se balanço hídrico.

Uma das características dos recursos hídricos é sua distribuição irregular no tempo e no espaço. Da mesma forma, o consumo de água não é equitativo entre os países do mundo e mesmo entre os habitantes de um mesmo país, em função de sua condição econômica. Os dados de consumo de água do Estado de São Paulo mostram que 30% do total consumido são utilizados na indústria, 46% no abastecimento urbano e 24% na agricultura (DAEE, 1984). Os fertilizantes e defensivos utilizados na agricultura podem causar sérios impactos pela contaminação de aquíferos, rios e mananciais. Em muitas regiões, em que há escassez de água, a demanda para o uso agrícola afeta o consumo doméstico. Atividades humanas que alterem os fatores básicos que determinam o balanço hídrico influenciam a disponibilidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica. O uso da terra com remoção da cobertura vegetal e implantação de agricultura sem controle da erosão, por exemplo, degrada os recursos hídricos, pelo aumento do escoamento superficial que promove o assoreamento de rios, lagos e represas (SALATI *et al.*, 1999). Daí a importância do estudo dos impactos causados pelas práticas agrícolas sobre os recursos hídricos.

Os estudos envolvendo recursos naturais, especialmente quando existe o interesse em aspectos ligados à qualidade e/ou disponibilidade de água, são, preferencialmente, executados na escala de bacias hidrográficas. Essa escala espacial pode ser considerada como uma unidade de

paisagem capaz de integrar os principais componentes relacionados com a qualidade e disponibilidade de água, como cobertura vegetal, solos, geologia e paisagem circundante. O estudo em bacias hidrográficas possibilita a integração dos fatores que condicionam a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos, com os seus reais condicionantes físicos e antrópicos. Essa escala também se mostra compatível para as ações políticas relacionadas à conservação do solo e à gestão dos recursos hídricos. A determinação das disponibilidades dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica apresenta uma grande complexidade, em função das interações existentes entre os diferentes fatores condicionantes do ciclo hidrológico, notadamente os fatores físicos. A compreensão dos mecanismos hidrológicos envolvidos entre os diferentes fatores pode possibilitar condições suficientes para a avaliação da dinâmica desses recursos, especialmente em áreas agrícolas, em que as alterações provocadas nos fatores físicos podem afetar diretamente os processos hidrológicos. A intensificação do uso do solo para o desenvolvimento agrícola produz um fato muito comum e pouco enfrentado, o aumento da erosão superficial dos solos.

Os processos de erosão estão relacionados com os mecanismos de desagregação e de transporte de sedimentos, cuja mensuração apresenta grande complexidade, assim como a avaliação da degradação das terras. Esses processos são o produto da interação dos mecanismos hidrológicos, pedológicos, geológicos, de utilização e ocupação do solo, e das características do relevo, os quais são fortemente acelerados para terras de menor potencial agrícola, apesar de que também em terras de elevado potencial agrícola esses processos podem ser intensos. A desagregação e o transporte de sedimentos têm como uma de suas fontes de origem o escoamento na superfície do solo. Esse escoamento superficial transporta, até os corpos d'água, partículas soltas ou solúveis, que podem também transformar-se em cargas de poluição significativas. O material transportado pode assorear as baixadas dos vales, os reservatórios de água e os rios, bem como contaminar os recursos hídricos superficiais com fertilizantes e defensivos agrícolas. Essas cargas representam uma fonte não pontual ou dispersa de poluição, caracterizando os principais problemas da atividade agrícola em relação ao meio ambiente, através da aplicação de defensivos e fertilizantes. Disto constata-se a interdependência dos aspectos quantitativos e qualitativos na definição de diretrizes para a gestão de manejo e proteção dos recursos naturais, e sobretudo a estimativa dos impactos ambientais nas regiões de produção e adjacentes devido às atividades agrícolas.

Este estudo foi realizado em duas microbacias pertencentes à bacia do rio Piracicaba, uma das mais significativas bacias do Estado de São Paulo em termos populacionais e de produção



agrícola e industrial.

## **2.2 - Bacia do rio Piracicaba**

A bacia do rio Piracicaba, localizada na parte centro-oriental do Estado de São Paulo, possui uma forma alongada no sentido leste-oeste. Com extensão aproximada de 250km e largura média de 50km, apresenta uma área de drenagem de 12.400km<sup>2</sup>, que corresponde a 4,7% da superfície do Estado, sendo que 90% de sua área encontra-se em território paulista e o restante em território mineiro (TEIXEIRA FILHO, 1989). A maior parte da bacia do rio Piracicaba está estabelecida, principalmente, na Depressão Periférica, possuindo altitudes inferiores em relação às duas províncias geomorfológicas que a ladeiam, o Planalto Atlântico e o Ocidental. A área drenada pelo rio Piracicaba e seus afluentes apresenta uma paisagem topográfica pouco acidentada, sendo as maiores saliências causadas pelos derrames basálticos, devido à maior resistência à erosão (FELTRAN FILHO, 1982). Isto é evidenciado pelas corredeiras e pequenas cachoeiras existentes nos cursos, onde se situam aproveitamentos hidrelétricos como a Usina Hidrelétrica de Salto Grande e a Usina do Tatu (FELTRAN FILHO, 1982). A bacia abrange importantes núcleos urbanos do Estado, apresentando uma população urbana total estimada atualmente em mais de dois milhões de habitantes, correspondendo a 8% da população urbana estadual. A densidade populacional de 185 hab/km<sup>2</sup> é 80% superior à média do Estado, conseqüência da crescente industrialização, principalmente ao longo da via Anhangüera. A crescente industrialização e a expansão agrícola nas últimas décadas propiciaram um grande desenvolvimento econômico-social em toda a bacia, atraindo fluxos migratórios de outras partes do Estado e do País. Esse desenvolvimento demográfico na década de 1970/1980 acusou um aumento de 35% na taxa média anual de crescimento em relação à década anterior. Nesse mesmo período, a região da Grande São Paulo apresentou um decréscimo de aproximadamente 18%, o que revela a grande atração exercida por essa área nos fluxos migratórios (TEIXEIRA FILHO, 1989).

As culturas de cana-de-açúcar e de citros constituem as principais atividades agrícolas no Estado de São Paulo, em especial na bacia do rio Piracicaba.

### **2.2.1 - Cultura de cana-de-açúcar**

A produção de açúcar e álcool reúne os dois principais produtos da indústria de cana-de-açúcar, que ocupa os primeiros lugares em termos de área colhida, representando mais de 20% da

área colhida do Estado de São Paulo (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 1994). O setor canavieiro observou uma forte ampliação após a crise energética de 1973, pela necessidade de substituição das fontes tradicionais de energia. Estendeu-se, especialmente, a produção de álcool hidratado carburante e criaram-se condições para o desenvolvimento tecnológico do setor de produção, mediante implantação do Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL). Essa expansão ocorreu principalmente nas regiões produtoras do Sudeste do país e notadamente no Estado de São Paulo.

Para a safra 1994/1995 o Estado apresentou uma produção de açúcar estimada em 78% da produção nacional (8,5 milhões de toneladas) e aproximadamente 6% da produção mundial (113,8 milhões de toneladas) (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 1994). Sobre a estimativa da produção de álcool, para a safra 1994/1995, a região paulista contribuiu com 78% da produção nacional (11,1 milhões de m<sup>3</sup>) (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 1994). Esses números demonstram a importância da lavoura canavieira do Estado de São Paulo. Um aspecto importante da produção da cana-de-açúcar traduz-se pela concentração de suas atividades e pela utilização de propriedades relativamente extensas em relação a outras culturas do Estado. Seu cultivo caracteriza-se por um elevado índice de concentração fundiária, predominantemente capitalista e uma forte homogeneidade produtiva, denotando pouca diferenciação na sua eficiência (TEIXEIRA FILHO, 1989).

Sua produção de alto valor comercial apresenta uma organização na qual a ocorrência da mão de obra assalariada de vínculo temporário é elevada, assim como a utilização de insumos modernos e tecnologia ocorre em larga escala. O emprego amplo desses insumos e tecnologia intensifica-se com o aumento geográfico das propriedades em relação às pequenas (TEIXEIRA FILHO, 1989). Assim, os estratos maiores de propriedades são fortemente beneficiados por incentivos econômicos, como subsídios para aquisição de adubos e defensivos agrícolas, aumentando, dessa forma, o seu poder de competitividade em relação às propriedades menores (PARANHOS, 1987). Esses aspectos produzem impactos ambientais e socio-econômicos importantes, de uma maneira geral, nas regiões de produção e, em particular, sobre a qualidade dos recursos hídricos (TEIXEIRA FILHO, 1989). Especificamente sobre a bacia do rio Piracicaba, observou-se um aumento expressivo das áreas cultivadas por cana-de-açúcar nos últimos anos, principalmente na parte oeste da bacia. Essa cultura foi a que mais se expandiu na região, em virtude dos incentivos do PROALCOOL. A expansão é decorrente, notadamente, do aproveitamento de solos de menor aptidão agrícola, em especial na parte oeste de Piracicaba e no

município de Águas de São Pedro. O setor canavieiro corresponde a 59% da área cultivada na bacia (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 1994). Essa atividade agrícola está certamente associada à problemática de preservação e conservação dos recursos hídricos da bacia do rio Piracicaba.

### **2.2.2 - Citricultura**

Amplamente cultivadas e consumidas em todos os continentes, as frutas cítricas podem ser classificadas em 3 categorias: no primeiro grupo estão as laranjas, tangerinas e mandarinas; no segundo, os limões e as limas e no terceiro grupo encontra-se o pomelo ou grapefruit. A partir da década de 1970, a oferta mundial de cítricos tem crescido significativamente, passando de 45,2 milhões de toneladas de fruta nos períodos de 1971/72 e 1975/76 para 66,2 milhões de toneladas em 1990/91, representando uma variação de 46,5% nesse período. Em 1990/91, o Brasil foi responsável por cerca de 19,9% da produção mundial de frutas cítricas (MARGARIDO, 1996). Dentre as frutas cítricas destaca-se a laranja, com cerca de 65% da produção. Os maiores produtores mundiais de laranja são Brasil e Estados Unidos, responsáveis por 60% da produção mundial. No entanto, ao contrário de outros países produtores, como Espanha, Marrocos, Grécia, Egito, Israel e Itália, que dirigem sua produção ao mercado de fruta fresca, tanto o Brasil como os Estados Unidos destinam cerca de 70% de sua produção ao processamento industrial para transformação em suco de laranja concentrado congelado. No Brasil, a quantidade exportada de laranja fresca corresponde a menos de 1% da produção, oscilando ao redor de 80 mil toneladas/ano no período de 1980 a 1993 (MAIA *et al.*, 1996).

A citricultura no Brasil, pela ausência de limitações climáticas, exceto em algumas áreas do Nordeste onde as precipitações são inferiores a 70 mm/ano e em outras do Sul, onde podem ocorrer geadas fortes, encontra-se disseminada por todo o território brasileiro, assumindo grande importância econômica e social em diversos estados. A área cultivada com citros no Brasil (excluindo pomelo), em 1992, era de 836 mil hectares, com aumento de 32% em relação à área estimada em 1980. A laranja ocupa, em média, cerca de 90% da área total de frutas cítricas, seguida pela tangerina, com 5,6%, e pelo limão, com 4,4% (MAIA *et al.*, 1996). Os principais estados produtores são, em ordem de importância: São Paulo, Bahia, Sergipe, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Paraná e Goiás.

A produção de laranja, no Brasil, está concentrada no Estado de São Paulo, que representa cerca de 80% da produção nacional. Num período de 15 anos, de 1975 a 1990, a área colhida de

laranja no Estado de São Paulo cresceu cerca de 146,35% (MARGARIDO, 1996). A produção de laranja no Estado de São Paulo é caracterizada por elevada concentração geográfica, estando quase toda a produção concentrada em 3 Divisões Regionais Agrícolas (DIRAs): Ribeirão Preto, Campinas e São José do Rio Preto. Os maiores produtores são os municípios de Bebedouro, Itápolis, Limeira, Taquaritinga, Monte Azul Paulista, Olímpia, Colina, Matão e Araraquara. A DIRA de Campinas, composta de 103 municípios, concentrava 11,3% da área agrícola estadual em 1993. Suas principais atividades produtivas são cana-de-açúcar para indústria, laranja, milho e café, além de pastagens e reflorestamentos. Dentre esses produtos, a laranja foi o que mais ganhou área no período de 1983-93, com aumento de 49,5% (CAMARGO *et al.*, 1995).

Como já foi assinalado, a industrialização da laranja é o principal destino da produção nacional. A partir da década de 1970, com a implantação da agroindústria processadora de suco de laranja, a cultura comercial dessa fruta passou a desempenhar papel fundamental na economia nacional, com a geração de empregos diretos e indiretos e também pela entrada de divisas oriundas da exportação.

Assim como ocorre com a produção de laranja, o parque industrial citrícola paulista também é geograficamente concentrado, com quase todas as instalações industriais situadas nas DIRAs de Campinas, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto, próximas às fontes produtoras de matérias-primas (MARGARIDO, 1996).

Ao contrário dos Estados Unidos, cuja produção de laranja para indústria visa atender à demanda doméstica, a produção brasileira de suco concentrado de laranja destina-se quase exclusivamente ao mercado externo. A venda interna de suco de laranja não ultrapassa 2% da quantidade processada de laranja. Para atender este mercado interno, surgiu recentemente o segmento de suco de laranja natural pasteurizado, cujas primeiras fábricas iniciaram suas atividades em 1992 (AMARO e MAIA, 1997).

Em 1990, as exportações brasileiras de suco de laranja concentrado atingiram 954,9 mil toneladas, 71,8% das exportações mundiais (MARGARIDO, 1996).

### **2.3 - Estudo e modelagem hidrológica**

A utilização de modelos de simulação representa uma ferramenta fundamental para o estabelecimento de balanço hídrico em bacias hidrográficas. Esses modelos podem ser empregados para estimar possíveis impactos sobre o meio ambiente em função de modificações da superfície do solo, especialmente em áreas agrícolas, sendo a modelagem o meio mais econômico para determinação do impacto das alternativas de manejo sobre os recursos naturais (BOURAOUI *et al.*, 1997). Diversos modelos foram desenvolvidos para a simulação de processos hidrológicos em bacias. A escolha do modelo depende do objetivo, da precisão desejada, da disponibilidade e da qualidade de dados. Podem-se considerar dois tipos de modelos com relação à representação espacial da simulação: os modelos globais e os modelos distribuídos. Os modelos hidrológicos globais consideram a superfície geográfica sem admitir as particularidades locais. A bacia é tratada como uma entidade homogênea que apresenta características uniformes em toda a área (FLEMING, 1977). Há alguns anos vêm sendo desenvolvidos, para a representação sistemática de diferentes processos hidrológicos, modelos conceituais distribuídos em substituição aos modelos empíricos anteriormente utilizados, em função de sua maior complexidade devida à utilização de informações espacialmente distribuídas (VILLENEUVE *et al.*, 1986).

Nos modelos hidrológicos distribuídos a simulação resulta da integração das funções locais sobre toda a área geográfica da bacia. A representação da variação espacial dos processos hidrológicos utilizada nos modelos distribuídos subdivide a bacia em um grande número de elementos finitos. Os cálculos são feitos para cada elemento, baseados nas características individuais. A resposta total em um modelo distribuído é calculada pela integração dos incrementos de cada elemento finito (FLEMING, 1977).

Os modelos utilizados no estudo de bacias hidrográficas e que se baseiam em parâmetros acumulados necessitam, para sua calibração, de dados meteorológicos e hidrológicos coletados durante um tempo suficientemente longo, o que nem sempre está disponível. Esses modelos geralmente não utilizam dados como topografia, tipo de solo e padrões e mudanças dos tipos de vegetação. Os modelos distribuídos baseados em aspectos físicos, por outro lado, podem superar muitas dessas deficiências pelo uso de parâmetros que possuem uma interpretação física e por sua representação da variabilidade espacial nos valores dos parâmetros (BEVEN 1989).

Uma das vantagens da utilização dos modelos distribuídos é seu potencial de simulação

mais precisa do processo de escoamento superficial, fortemente influenciado pelas variações espaciais das principais características do terreno como, por exemplo, clima, características do solo, vegetação e topografia (WIGMOSTA *et al.*, 1994). No entanto, tal precisão somente será possível se o modelo for bem desenhado e operado, obtendo-se assim vantagem de sua capacidade de representação espacial dos processos envolvidos. Outro aspecto significativo a ser ressaltado é que esses modelos tornam possível simular a influência de modificações projetadas para o uso da terra de uma bacia (LARSON *et al.*, 1982). A predição das alterações resultantes de mudanças naturais ou antrópicas sobre os padrões de vegetação, qualidade da água e produção de escoamento superficial requer uma representação explícita e acurada das relações entre hidrologia, vegetação e clima. Em regiões montanhosas, características do terreno como topografia, vegetação e solos apresentam grande variação espacial, assim como os fatores meteorológicos (precipitação, velocidade do vento, etc.). A absorção de radiação solar é altamente dependente da topografia local. Essas heterogeneidades em pequena escala causam impacto na redistribuição da umidade do solo, na produção de escoamento superficial e no balanço de energia da superfície do solo. Essas informações podem ser críticas na avaliação dos efeitos de fenômenos naturais como mudança climática, ou dos impactos das atividades humanas incluindo desmatamento, agricultura e urbanização (WIGMOSTA *et al.*, 1994).

Os modelos distribuídos são mais desejáveis que os globais, mas apresentam um custo adicional em termos de complexidade do modelo, exigência de dados de entrada e tempo de operação computacional. A importância desses pontos depende de vários fatores, incluindo tamanho da bacia, número de sub-áreas necessário e estrutura do modelo (LARSON *et al.*, 1982).

Muitos modelos hidrológicos e de qualidade da água representam de modo elementar a natureza tridimensional das paisagens naturais e, desta forma, representam simplesmente processos hidrológicos espacialmente distribuídos. Como a modelagem de transporte tem-se tornado cada vez mais importante na gestão hidrológica e ambiental, isto torna-se um fator limitante da força preditiva desses modelos. É necessário conhecer não apenas a variação temporal da descarga no curso d'água mas também é preciso prever com precisão a variação temporal nas profundidades do fluxo e nas velocidades do fluxo ao longo da bacia. Por exemplo, a modelagem acurada do desprendimento, transporte e deposição do solo ao longo de uma bacia requer um conhecimento da variação temporal e espacial na descarga, profundidade do fluxo e velocidade do fluxo. O efeito da convergência e divergência topográficas nas características do fluxo em paisagens naturais tem um impacto maior sobre os valores dessas variáveis hidrológicas

e hidráulicas. Sem a predição precisa das características do terreno, a predição precisa da qualidade da água não é possível. Os modelos de elevação digital fornecem os dados básicos para caracterização dos atributos topográficos das paisagens (MOORE e GRAYSON, 1991).

Para representar a informação espacial necessária aos modelos distribuídos, geralmente são utilizados mapas de diversos tipos, estabelecidos a partir de levantamentos de campo, de fotointerpretação, de imagens de satélite ou de qualquer outra fonte de informação geográfica. Entre os diferentes parâmetros de descrição da área de uma bacia, a topografia apresenta papel primordial, representando a maneira mais simples de definir a paisagem e permitindo avaliar as características da drenagem numa região. A informação topográfica é geralmente dada por mapas, que apresentam curvas de nível e pontos cotados (referências de nível). Para automatizar os cálculos e para completar a informação foi desenvolvida a técnica do Modelo Numérico de Terreno (MNT, ou *Digital Terrain Model, DTM*). O método consiste em estabelecer uma grade regular quadrada do mapa e adquirir a cota precisa a cada ponto de interseção (representação varredura ou raster) (CHEVALLIER, 1993). Além da topografia, deve-se conhecer os diferentes tipos de solo que compõem a área da bacia, bem como o tipo de ocupação do solo, uma vez que esses fatores também influenciam as características do escoamento superficial, da capacidade de infiltração da água no solo e da evapotranspiração.

Segundo MOORE e GRAYSON (1991), há três formas principais de estruturar uma rede de dados de elevação: por redes triangulares irregulares (TIN); redes de grid; e redes baseadas em vetor ou curva de nível. Os Modelos de Elevação Digital (DEM) ou Modelos Numéricos de Terreno (MNT) são baseados na forma mais comum de armazenamento de dados, o mapa topográfico. As curvas de nível são representadas no vetor DEM por uma série de coordenadas x,y (sistema de coordenadas cartesianas no plano horizontal) para cada isolinha de elevação. O espaçamento dos pontos x,y pode ser tanto regular como irregular, sendo que o último exige menos armazenamento de dados para um determinado nível de precisão. Espaçamentos irregulares permitem que áreas com contornos relativamente retos sejam digitalizadas a espaçamento mais largo que áreas cujo contorno tenha maior curvatura. Os mapas topográficos são preparados diretamente de fotografias aéreas ou levantamento de campo de modo que a informação seja submetida a um mínimo de manipulações, minimizando, assim, os erros. As maiores desvantagens desses métodos são que a digitalização é relativamente demorada e as exigências para o armazenamento de dados são muito maiores do que para os métodos de grid ou para os TINs. A densidade de informação do vetor DEM é maior em áreas com inclinações

íngremes do que em áreas mais planas, onde a topografia não é tão bem definida.

Em sua crítica a muitos modelos que consideram a representação espacial do meio físico, BEVEN (1989) argumenta que os desenvolvimentos futuros “*devem levar em consideração a necessidade de: uma teoria acumulada dos processos de escala de subgrid; uma maior correspondência na escala entre as previsões do modelo e as medições; e uma maior correspondência entre as equações do modelo e os processos de campo...*”. Para que sejam contemplados esses critérios, há a necessidade de um método de divisão da paisagem em áreas pequenas onde os processos hidrológicos e o solo, vegetação e características topográficas possam ser considerados uniformes ou pelo menos possam ser caracterizados por relações simples. Isso deve ser consistente com os processos hidrológicos que ocorrem na paisagem e fornecer uma estrutura que contemple tanto os modelos hidrológicos como os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), que cada vez mais fazem a interface com esses modelos. Com poucas exceções, os modelos hidrológicos não são estruturados de forma a permitir fácil acesso e uso dos dados contidos em um SIG. Os modelos ANSWERS, AGNPS e SHE e a maioria dos SIGs usa uma malha regular quadrada ou rede de células como estrutura básica. No entanto, o tamanho das células usadas em um SIG e no modelo hidrológico são geralmente inconsistentes, e a agregação ou desagregação significativa de dados de um tamanho de célula para outro não é um exercício trivial (MOORE e GRAYSON, 1991).

Os modelos distribuídos apresentaram uma forte evolução nos últimos anos em função do desenvolvimento dos sistemas de gestão de base de dados, dos Sistemas de Informação Geográfica, dos modelos numéricos de terreno e da aplicação de sensoriamento remoto (ROUET, 1991; BONN e ROCHON, 1992; LAURINI e MILLERET-RAFFORT, 1993). O esquema espacial dos modelos hidrológicos distribuídos pode ser baseado em malhas regulares, malhas não regulares seqüenciais, toposseqüências e outras (BEVEN e KIRKBY, 1979; GIRAD *et al.*, 1981; MOREL-SEYTOUX e ALHASSOUN, 1987; FORTIN *et al.*, 1990; RISSON, 1995; TEIXEIRA FILHO, 1995; AMBROISE *et al.*, 1996). O tipo de esquema espacial utilizado em um modelo de simulação hidrológica necessita de uma estrutura geralmente complexa e detalhada. Essa estrutura permite considerar a variabilidade da morfologia da bacia, assim como suas características de solo e de vegetação com uma boa precisão.

Apesar da acentuada evolução e da ampliação da utilização dos modelos hidrológicos distribuídos, BEVEN (1989) ressalta a importância de manter uma postura crítica com relação a esses modelos, bem como a qualquer representação simplificada da realidade. Há dois objetivos



principais dos modelos de simulação. O primeiro é a exploração das implicações de se fazer certas suposições sobre a natureza do sistema do mundo real; o segundo é prever o comportamento do sistema do mundo real sob uma série de circunstâncias naturais. As aplicações dos modelos físicos têm-se ocupado principalmente do primeiro objetivo com a finalidade de aumentar a compreensão de uma determinada construção teórica. Por analogia, também estaria sendo expandida a compreensão do protótipo do mundo real. Porém, tais conclusões devem ser tomadas com grande cuidado. Os modelos de simulação, até mesmo os mais complexos, apresentam extremas simplificações da realidade. Sabe-se que as equações utilizadas nos modelos descrevem bem os processos que ocorrem em laboratório, em bacias e encostas modelo que são bem definidas e espacialmente homogêneas. Não se pode estar tão seguro de que essas equações descrevam o sistema tridimensional complexo, espacialmente heterogêneo e temporalmente variável que é uma bacia hidrográfica real (BEVEN, 1989).

Durante as duas últimas décadas, os modelos matemáticos se tornaram ferramentas aceitas em hidrologia. Modelos distribuídos são freqüentemente considerados superiores aos globais uma vez que necessitam menos calibrações ou ajustes dos parâmetros. Mas há um limite na performance que não pode ser superada nem mesmo pela mais completa descrição física. Esse limite é dado pela precisão e representatividade dos dados de entrada. Importantes variáveis, como precipitação e evapotranspiração, estão sujeitas a grandes erros sistemáticos que não podem ser corrigidos satisfatoriamente antes de serem usados como entradas do modelo. Sabe-se também que a geologia, topografia e uso da terra são altamente variáveis na maioria das bacias e até mesmo variam muito dentro da célula da malha empregada como unidade de área em muitos modelos distribuídos. Conseqüentemente, há a tendência a utilizar a opção de calibração mesmo em formulações de modelos muito complexas, como, por exemplo, no modelo SHE (BERGSTRÖM, 1991). Deve haver também um ponto em que o modelador tenha a coragem de dizer: *“... este problema é muito difícil para ser modelado. Você deve basear sua decisão em outra coisa”*.

### **2.3.1 - Aplicações da modelagem hidrológica**

O desenho de um modelo distribuído exige o uso de um algoritmo capaz de encaminhar a água entre as unidades espacialmente distribuídas. Este encaminhamento de unidade a unidade implica que o cálculo é repetido para todas as unidades para cada passo da simulação. Isto certamente torna a simulação mais lenta, complicando, assim a execução da calibração

automática. VILLENEUVE *et al.* (1986) desenvolveram um modelo hidrológico distribuído (MDOR), para simulação de precipitação-escoamento superficial, que pode ser encarado como uma combinação entre modelos distribuídos e globais acumulados. O estudo foi realizado na bacia do rio Rimouski, com 1590km<sup>2</sup> de extensão, e foi empregada uma rede de malhas de 5km × 5km. As unidades de distribuição espacial são combinadas em um número limitado de zonas que serão simuladas de maneira acumulada. A ligação entre as estruturas acumulada e distribuída é feita de acordo com três critérios: inclusão de unidades dentro de zonas isócronas, inclusão de unidades dentro da zona de influência das estações meteorológicas, e o tipo das unidades. Portanto, a bacia é dividida em zonas isócronas e zonas de influência das estações meteorológicas, e o tipo de escoamento superficial que ocorre em cada unidade é determinado. O modelo reconhece três tipos de unidades de escoamento superficial, cada uma sendo modelada de modo diferente; são elas unidade de rio, de terra e de lago. Assim, as unidades de uma bacia constituídas, por exemplo, de 3 zonas isócronas e 5 estações meteorológicas são agrupadas em 45 supra-unidades acumuladas. Esta diminuição no número de unidades simuladas é parcialmente responsável pela redução no tempo computacional requerido pelas simulações feitas pelo modelo MDOR.

AL-SOUFI (1987) desenvolveu um modelo matemático baseado em condições físicas para simular o comportamento do continuum solo-água-plantas. O modelo contempla quatro subsistemas hidrológicos: subsistema de evaporação da água do solo e transpiração vegetal; subsistema de interceptação-evaporação-transpiração florestal; subsistema de fluxo superficial; e subsistema de fluxo subsuperficial. O fluxo superficial é modelado pela solução numérica da equação da onda cinemática na qual os termos de inércia são desprezados. No entanto, a solução se restringe à pouca profundidade do fluxo sobre uma superfície plana. A solução numérica é obtida pela divisão da superfície do solo em várias malhas regulares. Para cada uma delas, assume-se que a inclinação da superfície da água é paralela à superfície do solo. Chega-se à solução da equação por um esquema explícito de diferenças finitas. Para o estudo do fluxo subsuperficial, utiliza-se um método de diferenças finitas para o qual o continuum do solo é dividido em pequenos elementos cúbicos finitos, denominados nódulos cúbicos. A região do fluxo é, assim, modelada como um grid de pontos espaçados de uma distância finita. Na análise tridimensional, cada nódulo cúbico tem um tamanho finito com dimensões iguais ou diferentes. A área desses cubos pode ser quadrada, retangular ou, em alguns casos, poligonal. O tamanho da área dos cubos é determinado principalmente pelas características hidrológicas da superfície

estudada. A área modelada é uma sub-bacia chamada Nolsjön, localizada no sul da Suécia. Seu relevo é ondulado, com altitudes variando entre 123m e 145m. A área da bacia apresenta 6km<sup>2</sup> e é coberta por floresta de coníferas com média de 22m de altura. O solo é predominantemente de origem glacial (“till soil”), com ocorrência de pequenas áreas turfosas ou rochosas. Quase toda a área tem perfil de solo com pelo menos 3m de profundidade. Na construção da rede nodal da sub-bacia Nolsjön, a área foi dividida em uma rede de pontos (mais de 70 na direção horizontal e 13 na vertical). A rede nodal foi desenhada como uma malha quadrada de 250 x 250m<sup>2</sup> na qual o continuum do solo estava representado por 910 nódulos cúbicos. Os resultados obtidos sugerem que a utilização desse tipo de ferramenta computacional forneceria informações precisas para o desenvolvimento e o manejo dos recursos hídricos.

WOOD *et al.* (1988) realizaram uma investigação preliminar sobre a existência de uma AER - Área Elementar Representativa (*Representative Elementary Area - REA*) no contexto da modelagem hidrológica em escala de bacia hidrográfica. O estudo foi desenvolvido para uma topografia real de bacia representada pela bacia experimental do Rio Coweeta. A resposta hidrológica da bacia foi modelada por uma versão modificada do TOPMODEL capaz de modelar tanto o excesso de infiltração como o escoamento superficial do excesso de saturação e também incorporar a variabilidade espacial dos solos, topografia e precipitação. O efeito da escala foi analisado inicialmente pela divisão da bacia em sub-bacias menores e pela determinação dos fluxos médios de água para cada sub-bacia. É reconhecida a influência da escala da bacia na resposta hidrológica e sua importância na modelagem de precipitação-escoamento superficial. À medida em que a escala espacial da bacia aumenta, a bacia tende a atenuar os complexos padrões locais de geração de fluxos de água e escoamento superficial. Em larga escala, a geração de escoamento superficial se torna de algum modo independente de variações na intensidade da chuva medida por pluviômetros individuais e a resposta de precipitação-escoamento superficial à escala da bacia parece ser governada por características de macroescala da bacia. Essas observações estimularam as tentativas dos hidrologistas em definir o significado de “bacias de grandes escalas” e desenvolver uma teoria consistente para analisar as respostas das bacias em diferentes escalas. O trabalho é uma tentativa preliminar de analisar a seguinte questão relacionada à heterogeneidade espacial e à escala da bacia: como varia o comportamento estatístico da geração de escoamento superficial com o aumento da escala da bacia hidrográfica? Acredita-se que em escalas pequenas os padrões reais de topografia, solo e características da precipitação são importantes no controle da produção de escoamento superficial. No entanto, com

o aumento da escala, mais e mais da variabilidade nas distribuições é amostrada dentro de cada área, até que no final, em alguma escala grande, todas as áreas irão fornecer respostas quase idênticas para o caso de distribuições estacionárias. Foi utilizada a bacia experimental do Rio Coweeta, na Carolina do Norte-EUA, com área de 17km<sup>2</sup>. Estava disponível um mapa de elevação digital com grid de 30m<sup>2</sup>. A bacia foi subdividida em quatro níveis de desagregação resultando na subdivisão da bacia em 87, 39, 19 e 3 sub-bacias. O próximo passo na análise foi formular um modelo de resposta hidrológica na escala do pixel (30m<sup>2</sup>). A atenção foi concentrada na resposta de precipitação de tempestade e exigiu um modelo que pudesse lidar com importantes processos na geração de escoamento superficial. Foi utilizada uma versão modificada e espacialmente distribuída do TOPMODEL. Os resultados obtidos foram divididos em três grupos: (1) solos, precipitação e topografia variáveis que formam um conjunto o mais próximo da resposta natural da bacia; (2) solos e precipitação espacialmente constantes com topografia variável; e (3) solos e precipitação espacialmente variáveis, com produção de escoamento superficial por excesso de infiltração apenas.

Com base nos resultados preliminares, podem ser elaboradas as seguintes conclusões:

- (1) Realmente existe uma Área Elementar Representativa no contexto da resposta da geração de escoamento superficial de bacias hidrográficas.
- (2) A AER é fortemente influenciada pela topografia, por (a) tamanho e forma das sub-bacias e (b) seu papel no modelo de resposta hidrológica.
- (3) As variabilidades das entradas de solos e precipitação entre sub-bacias apresentam papel secundário na determinação do tamanho da AER; no entanto, um aumento ou diminuição dessas variabilidades aumenta ou diminui a variabilidade entre sub-bacias.

Segundo CHUTHA e DOOGE (1990), os hidrólogos há muito sonham serem capazes de prever o hidrograma unitário de uma bacia com base na informação disponível em um mapa de curvas de nível. Para que a resposta da bacia seja modelada com precisão, é necessário um modelo validado com um pequeno número de parâmetros capazes de ser determinados a partir de características da bacia facilmente mensuráveis. Basear a busca por tal modelo na aplicação das equações matemáticas da física hidrológica à complexidade geométrica de uma bacia natural oferece pouca esperança de uma melhor previsão ou maior entendimento do comportamento global da bacia. Uma abordagem mais promissora que o quadro complexo baseado no estudo dos processos hidrológicos individuais é a tentativa de descobrir princípios simplificadores do equilíbrio geomorfológico que produz regularidades simples na escala de bacia hidrográfica.

Uma vez escolhida a abordagem geomorfológica, surge a questão: qual a escala e o formato do hidrograma unitário para uma bacia de drenagem? Assim, um esquema espacial definido para representar uma bacia hidrográfica deve contemplar as variáveis que condicionam o movimento da água na superfície do solo, ou seja, os parâmetros hidráulicos que definem o escoamento, como declividade e rugosidade.

MOORE e GRAYSON (1991) realizaram a modelagem do escoamento superficial em uma bacia com 9,6ha em Chickasha, Oklahoma. Há na bacia três tipos de solos franco arenosos, e a cobertura vegetal predominante é de gramíneas para pastagem. A maior parte dos terrenos da bacia (65%) tem inclinação inferior a 3% de declividade, sendo que a inclinação máxima chega a 8%. Foi utilizado o modelo TAPES-C (Programas de análise topográfica para as ciências ambientais - contorno), que é um pacote composto de quatro programas computacionais que automaticamente espacializam uma bacia em elementos irregulares interconectados utilizando a abordagem de rede de fluxo. Esse conceito estabelece que as curvas de nível adjacentes e as linhas de direção do fluxo de corrente definem elementos formatados irregularmente. Com essa maneira de dividir uma bacia, o fluxo unidimensional pode ser analisado dentro de cada elemento, permitindo que o movimento da água em uma complexa bacia tridimensional seja representado por uma série de pares de equações unidimensionais. As equações podem ser resolvidas por diferença finita unidimensional ou por esquema de elementos finitos. O método é um desenvolvimento dos métodos de análise de terreno baseados em curvas de nível. A análise de terreno está-se tornando cada vez mais importante nas ciências hidrológicas, geomorfológicas e ecológicas para o exame das relações espaciais entre os processos que ocorrem na superfície do solo e no regime subsuperficial pouco profundo. Há muitos métodos de análise de terreno, incluindo os baseados em grid, em rede triangular irregular e métodos de contorno ou vetor, e cada um apresenta vantagens e desvantagens em diferentes circunstâncias. O método de análise de terreno baseado em linhas de contorno ou vetores, TAPES-C, permite uma representação realista da natureza tridimensional das paisagens naturais para modelagem hidrológica dinâmica sob as limitações de manter o realismo físico e reduzir as exigências computacionais. A maior vantagem do TAPES-C sobre os outros métodos é que ele permite reduzir as equações que governam o escoamento superficial e o fluxo subsuperficial pouco profundo a pares de equações unidimensionais, permitindo assim obter soluções computacionalmente eficientes. Os resultados de dois modelos simples demonstram que os modelos de processos hidrológicos baseados em terreno podem ser ferramentas poderosas para uso em hidrologia computacional. Esses modelos

oferecem um meio de determinar taxas de escoamento superficial, velocidades de fluxo, profundidades de fluxo e áreas saturadas ao longo de paisagens tridimensionais complexas. Estimativas dessas quantidades são essenciais para obtenção de previsões de erosão, transporte e deposição de sedimentos e contaminantes na paisagem. Conceitualmente, assumir que os gradientes de potencial dirigindo o movimento da água na paisagem pode ser aproximada pelo gradiente da superfície do solo parece razoável para a modelagem do fluxo superficial.

BAND *et al.* (1991) descreveram uma estrutura de computação e mapeamento da evapotranspiração e produtividade primária líquida de uma floresta situada em terreno montanhoso complexo. A metodologia se baseia na interface do processamento de informações geográficas e sensoriamento remoto utilizando o FOREST-BGC, um modelo determinístico não-linear desenvolvido para simular os ciclos de carbono, nitrogênio e água em ecossistema florestal. O método pretende expandir modelos de processos ecológicos pontuais em nível de paisagem. O modelo requer, como dados de entrada, os padrões geográficos do Índice de Área Foliar (IAF), a capacidade de água disponível no solo e parâmetros microclimáticos na paisagem. Esses padrões são representados com o uso de um modelo que define completamente a paisagem, através de um conjunto de vertentes, cursos d'água e sub-bacias. Uma base de dados georreferenciados contendo dados de elevação digital, informações de sensoriamento remoto e outros dados ambientais são estratificados nesse modelo. A estratificação dos conjuntos de dados da superfície através de um modelo de vertentes ou bacia produz unidades de paisagem com pequena variação interna dos parâmetros importantes, mas com alta variação entre unidades. Pela produção de modelos com diferentes níveis de resolução, pode-se reorganizar o conjunto de parâmetros do modelo em diferentes níveis de generalização da superfície. O modelo é diretamente parametrizado para cada uma dessas unidades de superfície que podem então ser simuladas em paralelo, promovendo a expansão da simulação para regiões extensas. Foi utilizado um modelo para processos de ecossistemas florestais, FOREST-BGC, juntamente com o processamento de informações geográficas e sensoriamento remoto para estruturar espacialmente, parametrizar e executar uma simulação da evapotranspiração da floresta (ET) e da produtividade primária líquida (NPP) para bacias na porção oeste de Montana-EUA. O principal objetivo foi desenvolver metodologia com a qual se pudesse estimar aquelas e outras informações referentes a taxas de fluxos hidrológicos e ecológicos e níveis de armazenamento em um espectro de escalas, desde a vertente ou indivíduo até áreas da ordem de  $10^4$  km<sup>2</sup>. Este último é a escala da célula do modelo de circulação global (GCM). No ecossistema da parte oeste de Montana, há um forte controle

topográfico do ambiente de radiação, da estrutura da floresta e solos típicos com copas mais abertas ocupando as encostas mais iluminadas pelo sol (mais ensolaradas) da face sul e copas mais fechadas ocupando as encostas sombreadas da face norte. Mesmo quando perturbações antrópicas ou naturais dominam os padrões da floresta, o ambiente de radiação apresenta fortes contrastes com base na exposição à radiação solar. Assim, foram escolhidas as facetas de encosta (vertentes) como unidade básica de paisagem tanto para amostragem e armazenamento das informações geográficas necessárias para computar os valores dos parâmetros do modelo, bem como para a execução do modelo distribuído. A bacia, com 17km<sup>2</sup>, foi dividida em 6, 14, 30 e 66 planos vertentes. A estratégia básica seguida foi o desenvolvimento de técnicas eficientes e automáticas de dividir um Modelo Numérico de Terreno da paisagem em uma série de unidades definidas topograficamente (neste caso, as vertentes da montanha). As informações das imagens de satélite georreferenciadas, o Modelo Numérico de Terreno e mapas de solos digitalizados foram usados para derivar os parâmetros do modelo, incluindo o gradiente de superfície, orientação, elevação, índice de área foliar e capacidade de retenção de água no solo. Pode-se definir com flexibilidade o detalhamento e a escala de partição controlando o grau de dissecação da paisagem resolvida no MNT, e assim, o número e tamanho das vertentes. Em cada escala de partição são simuladas a evapotranspiração e a produtividade primária líquida para cada vertente. Também para cada vertente foi utilizado o valor médio da umidade no solo. Esses valores são representativos e não refletem a real variabilidade dos solos. Os efeitos da agregação podem então ser explorados em termos da resposta total da bacia e dos padrões espacial e temporal que são modelados. Procurou-se também estimar a variância e o desvio padrão das predições de ET e NPP produzidos pelo processo de agregação. A maneira como informações geográficas contínuas são agregadas em unidades discretas de paisagem pode ter impactos significativos tanto na parametrização como nos resultados dos modelos de simulação hidrológica. Esse impacto depende muito da variância dos valores dos parâmetros dentro das unidades de paisagem e o grau da não linearidade do modelo ao longo da amplitude dos parâmetros.

PALACIOS-VÉLEZ e CUEVAS-RENAUD (1992) desenvolveram um modelo para calcular o escoamento superficial em uma pequena bacia hidrográfica, com aproximadamente 3,6 km<sup>2</sup>, localizada na Bacia Experimental de Walnut Gulch, no sudeste do Arizona. A partir de um mapa de curvas de nível da bacia, foram selecionados 40 pontos e construído um modelo com 81 facetas triangulares irregulares (TIN-Triangular Irregular Network). As características do solo para cada faceta foram interpoladas utilizando informações disponíveis em vários pontos de

medição. O modelo utilizado foi o SHIFT (Sistema Hidrológico de Facetas Triangulares), bem adaptado a regiões onde o fluxo subsuperficial não desempenha papel importante na geração do escoamento superficial. O modelo não calcula a redistribuição da água no solo nem a evapotranspiração, não estando apto, portanto, a efetuar simulação contínua. Na abordagem TIN, a bacia é dividida em uma rede de peças triangulares não superpostas. A superfície de cada peça é geralmente representada por um plano e portanto o plano e a curvatura do perfil não podem ser calculados porque a segunda derivada das funções da superfície não existe, a menos que complexas peças curvas contínuas sejam utilizadas no lugar dos planos.

GRAYSON *et al.* (1992) discutem as futuras direções para os modelos distribuídos utilizados como componentes hidrológicos dos modelos de transporte de sedimentos e nutrientes. A atração desses modelos é seu potencial em fornecer informação sobre as características do fluxo em pontos dentro da bacia, mas as representações correntes nos modelos baseados em processos são freqüentemente grosseiras demais para garantir, a princípio, aplicação precisa a problemas de previsão. As dificuldades se relacionam tanto à percepção das capacidades do modelo como às suposições e algoritmos utilizados nos modelos. Além disso, a escala das medições para muitos parâmetros é freqüentemente incompatível com seu uso na modelagem hidrológica. Os usos mais apropriados dos modelos distribuídos são assistir na análise dos dados, testar hipóteses em conjunto com estudos de campo, aumentar a compreensão dos processos e suas interações e identificar áreas pouco compreendidas na descrição de processos. A idéia incorreta de que a complexidade do modelo é positivamente correlacionada com a confiança nos resultados é exacerbada pela falta de discussão franca e completa das limitações/capacidades de um modelo e a reticência em publicar resultados insatisfatórios. Foi estudado o escoamento superficial das bacias Wagga, na Austrália, com 7,03ha e Lucky Hills, nos Estados Unidos, com 4,4ha de área. A primeira apresenta orientação predominantemente leste e inclinações variando de 5% a 20% de declividade, em um Solo Solódico Amarelo. O terreno estava arado mas não cultivado. A segunda bacia apresentava inclinações inferiores a 30%, e orientava-se a sul. O solo predominante era franco arenoso. Os resultados mostraram que para a bacia Wagga houve pouca adequação das curvas simuladas às informações disponíveis. Para a bacia Lucky Hills, foi observada escassez de dados de campo e falta de metodologia para a coleta de dados em escala apropriada para modelos como o empregado no estudo.

KITE e KOUWEN (1992) compararam a utilização de um modelo hidrológico global com a utilização de uma versão do mesmo modelo aplicada sucessivamente a diferentes usos do solo



em sub-bacias A bacia do rio Kootenay, na Colúmbia Britânica, Canadá, com área de drenagem de 7.129km<sup>2</sup>, foi dividida em três sub-bacias de contribuição, e cada uma foi posteriormente subdividida por classificação da cobertura do solo utilizando imagens do satélite Landsat. Havia três classes de cobertura do solo, solo nu, florestas e pastagem, constituída por vegetação rasteira associada a áreas de reflorestamento. O tipo de cobertura vegetal é fortemente associado à elevação. Um modelo hidrológico foi aplicado separadamente para cada classe de ocupação do solo em cada sub-bacia. Os hidrogramas finais foram comparados àqueles obtidos com a utilização do modelo na bacia como um todo. O emprego do modelo semidistribuído permite estatísticas de ajuste melhores que as encontradas na abordagem global. Os valores dos parâmetros dependentes da classe de ocupação do solo encontrados por otimização confirmam as variações físicas nas taxas de acumulação e infiltração que seriam esperadas em uma bacia de região montanhosa. A vantagem do modelo semidistribuído é que relacionar os valores dos parâmetros às características de cobertura do solo proporciona um método de investigação das mudanças na ocupação do solo e permite ao modelo ser mais facilmente transferido para outras bacias. Bacias hidrográficas podem ser modeladas por modelos globais tais como o modelo SLURP (Simple Lumped Reservoir Parametric) utilizando dados de entrada médios da bacia e gerando o fluxo total da bacia. Um modelo assim pode fornecer resultados razoáveis, mas devido à natureza distribuída da precipitação e à não homogeneidade da maioria das bacias hidrográficas, não se pode esperar que representem com precisão as condições da bacia.

Por outro lado, modelos hidrológicos distribuídos como o HYDROTEL ou SHE dividem a bacia em muitas células de grid e modelam cada célula separadamente, direcionando os fluxos resultantes da rede de drenagem predefinida para fora de cada célula. Esses modelos são muito flexíveis mas necessitam muito mais dados (geralmente dados não disponíveis) e muitas vezes mais parâmetros e requerem muito mais esforços para aplicação. Igualmente, muitos modelos descritos como distribuídos apresentam parâmetros invariáveis ao longo da bacia. O termo distribuído às vezes se aplica apenas à habilidade do modelo em subdividir a bacia para a entrada dos dados meteorológicos, geralmente usando técnicas arbitrárias. O objetivo do trabalho foi mostrar que um modelo hidrológico global pode ser melhorado pela computação dos processos precipitação-escoamento superficial e derretimento de neve separadamente para diferentes classes de uso do solo, em que uma classe consiste de uma área de ocupação do solo hidrologicamente significativa que pode ou não ser contígua. As contribuições de fluxo das classes são somadas na calha da sub-bacia e então direcionadas a jusante. Mesmo se as classes de uso do solo são

distribuídas aleatoriamente nos limites da bacia, é possível determinar os parâmetros hidrológicos para cada única classe de uso do solo para uma bacia montanhosa. A necessidade de bacias monitoradas que consistem de uma única cobertura de solo hidrológicamente homogênea com o propósito de calibrar modelos de simulação é eliminada. Ao contrário, bacias rotineiramente monitoradas que tenham uma série de sub-bacias caracterizadas por uma mistura de coberturas de solo podem ser usadas para calibrar um modelo hidrológico. A abordagem por zonas para o escoamento da neve derretida já foi previamente empregada na modelagem hidrológica. Bacias montanhosas que apresentam uma única cobertura de solo para amplitudes de elevação específicas são simplesmente um caso especial. A principal vantagem da abordagem apresentada é que as zonas são associadas à ocupação do solo apenas. Para os propósitos da modelagem, a locação da cobertura do solo em um elemento computacional não é importante; apenas a quantidade relativa de cada cobertura é de interesse. Essas quantidades são facilmente extraídas de dados de sensoriamento remoto. Mesmo em escalas pequenas, coberturas de solo ou usos do solo exibem variações, e as contribuições do escoamento superficial são invariavelmente calculadas para áreas de contribuição que devem conter uma mistura de coberturas de solo ou usos do solo. Os valores dos parâmetros podem ser determinados para uma área de contribuição utilizando médias ponderadas. Isso é aceitável para algumas aplicações de desenhos hidrológicos, mas leva a dificuldades quando os modelos são calibrados em uma bacia e depois aplicados a outra. Uma maneira de evitar a necessidade de obter a média dos valores dos parâmetros é subdividir a bacia em pequenos elementos computacionais tal que cada elemento é essencialmente homogêneo em termos hidrológicos e pode ser chamado de unidade de resposta hidrológica (HRU). As bacias são subdivididas em áreas que apresentam características uniformes como inclinação, orientação, tipo de solo, tipo de vegetação, elevação e distribuição da precipitação.

Um elemento computacional pode ser baseado em um sistema de malhas como no caso dos modelos SHE e HYDROTEL, ou pode ser uma sub-bacia, como no sistema de modelagem precipitação-escoamento superficial do U. S. Geological Survey. No entanto, o principal argumento contra a subdivisão da bacia em HRUs é que o tamanho da HRU é arbitrário. Para superar esse problema, foi utilizada uma abordagem alternativa, com “unidades de resposta agrupada” (GRUs). Uma GRU é composta de um grupo de HRUs que apresentam características de resposta hidrológica similares e se encontram dentro de um elemento computacional mas não precisam ser contíguas. O elemento computacional pode ser uma sub-bacia ou um elemento

georreferenciado que é, para os propósitos do modelo, exposto a condições meteorológicas uniformes. As GRUs partilham um sistema de drenagem comum dentro do elemento. Com esta abordagem, o tamanho do elemento pode ser escolhido de modo a se ajustar à simulação e às considerações meteorológicas. As contribuições ao escoamento superficial de áreas hidrologicamente similares (grupos de HRUs) tais como florestas, gramados, baixadas e áreas impermeáveis, dentro de um elemento computacional (sub-bacia), são calculadas separadamente e depois somadas antes de se direcionarem ao sistema de corrente e rio. Assim, as áreas de contribuição consistem de áreas contíguas ou não contíguas dentro de cada elemento computacional. Antes de a água atingir a corrente, ela pode tomar dois caminhos, a saber, superficial ou subsuperficial. Ambos os caminhos envolvem relações de armazenagem-descarga que fornecem tempos de concentração apropriados. O uso de GRUs pode reduzir os erros de calibração e validação, mas a maior vantagem é que os valores dos parâmetros podem ser associados às classes de cobertura do solo e o tamanho do elemento computacional pode ser escolhido para se adequar ao padrões de drenagem, combinar-se à base de dados, ou atender aos requisitos do output. Pelo agrupamento das unidades de resposta, a necessidade de elementos computacionais homogêneos para calibrar os parâmetros do modelo é eliminada, sem comprometer a habilidade do modelo de refletir o efeito da variação no uso da terra. Um modelo semidistribuído baseado em classificações da cobertura do solo fornecerá melhores estatísticas de calibração e validação que a versão acumulada (global) do mesmo modelo. As vantagens da utilização de um modelo baseado em unidades de resposta agrupadas são que o modelo pode ser melhor calibrado às condições físicas da bacia e que pode ser mais facilmente transferido para outras bacias, desde que a distribuição das classes de uso do solo sejam conhecidas para as novas bacias. O modelo semidistribuído também pode ser empregado para investigar questões concernentes a variações nas classes de ocupação do solo (tais como desmatamento ou urbanização) e mudanças nas variáveis climáticas. O modelo tem vantagens em relação aos modelos distribuídos pois os requisitos computacionais e de dados são muito menores e a calibração é muito mais fácil.

MOORE *et al.* (1993) apresentam modelos para estimativa da distribuição espacial da radiação e dos regimes termal e hidrológico em bacias florestadas, topograficamente complexas. Os modelos empregam atributos topográficos, derivados de um modelo numérico de terreno baseado em rede de grid, como dados primários de entrada. Os modelos são baseados em representações simplificadas da física subjacente dos processos, mas inclui os fatores chave que

modulam o comportamento do sistema. Os modelos SRAD e WET foram aplicados a uma área florestada localizada no sudeste da Austrália para ilustrar as aplicações potenciais da abordagem. Foi desenvolvido para a área um modelo numérico de terreno com malha de 20m × 20m. Os resultados de fluxos de radiação obtidos foram consistentes com medições realizadas em Camberra e a eficiência média de conversão de fluxo superficial anual pode ser comparada razoavelmente bem com os valores medidos por um período de 11 anos em uma bacia de 97,5ha localizada próximo à área de estudo. A área estudada contém cinco tipos principais de floresta sub-alpina, bem como uma pequena área de espécies exóticas. Os fluxos computados foram utilizados para melhor caracterizar a heterogeneidade ambiental e os domínios ambientais desses tipos de floresta. A temperatura mínima média no mês mais frio (julho) e a radiação líquida anual foram as duas variáveis ambientais que diferenciaram a ocorrência das três espécies de eucalipto investigadas. O local de estudo foi uma área de 21,6km<sup>2</sup> localizada na seção norte de Brindabella Range, sudeste da Austrália. As altitudes variam de 842m a 1370m. A variação de inclinação é de 0,4 a 114%, com média de 32% e desvio padrão de 15%. O local tem orientação predominantemente oriental, apesar de que uma grande variação de orientações está presente. A paisagem apresenta topografia irregular e complexa. São encontrados no local os Solos Podzólicos Vermelhos e Amarelos, solos franco-avermelhados, e dois tipos de solos húmicos alpinos. O padrão espacial dos solos na bacia é complexo, associado a aspectos geológicos, topográficos e climáticos. Os dados digitais de elevação foram obtidos inicialmente pela digitalização das linhas de corrente e das curvas de nível com intervalo de 50 m a partir de um mapa em escala 1:25 000. Foi obtido um modelo numérico de terreno de 5m × 5m, utilizando o programa ANUDEM. Esse modelo foi então sub-amostrado para um modelo numérico de terreno de 20m × 20m contendo 54.126 pontos de grid, que foi a base para as análises subseqüentes. A distribuição espacial de vários atributos topográficos incluindo elevação, inclinação, aspecto, perfil e curvatura plana, área específica da bacia e comprimento máximo do caminho de fluxo foram calculadas a partir do MNT usando o modelo TAPES-C. Inclinação e orientação são os principais fatores que determinam a variabilidade da radiação global, e, assim, portanto, da evapotranspiração potencial.

VERTESSY *et al.* (1993) aplicaram o modelo Topog\_Yield à bacia Myrtle II, com 0,32km<sup>2</sup>, uma das 14 bacias experimentais monitoradas pelo Melbourne Water na Área Experimental de North Maroondah, localizada na Austrália. As altitudes na bacia variam de 590 a 790m, as inclinações variam principalmente entre 25 e 35% e a orientação é predominantemente

voltado para o sul. Predominam solos vermelhos, com mais de 60% de argila. Mesmo assim, os solos são bem estruturados, com 30% a 50% de porosidade. A vegetação, durante o período de investigação, era dominada por floresta em que predominavam *Eucalyptus regnans*, ocupando 78% da área. O primeiro passo para a análise do terreno foi um mapa de curvas de nível em escala 1:25.000, digitalizado manualmente obtido de fotografias aéreas em escala 1:50.000. As curvas de nível foram baseadas na copa da floresta e tinham intervalo de elevação de 10m. Uma investigação do terreno verificou a precisão do mapa. O mapa de curvas de nível digitalizado foi processado com o modelo de elevação digital Splin2H. Foi gerada uma malha de elevação de 2m  $\times$  2m, depois ajustado com um novo conjunto de curvas de nível com espaçamento de altitude de 5m. Essas curvas foram então utilizadas para gerar uma rede de elementos composta por 1117 elementos, resultando em uma área de elemento média de 17m  $\times$  17m. Para testar o efeito do tamanho do grid nas predições feitas pelo Topog\_Yield, o modelo foi aplicado a quatro diferentes redes de elementos, em que o tamanho médio do elemento variou de 26m<sup>2</sup> a 412m<sup>2</sup>. Os resultados obtidos indicaram que à medida em que o tamanho do elemento aumenta, a tendência é que os níveis da água sejam mais elevados, que as áreas saturadas sejam maiores, que o pico do escoamento superficial seja maior e que o fluxo básico seja menor. No entanto, a magnitude desses efeitos é surpreendentemente pequena. Os modelos baseados nas características do meio físico são os mais adequados para aplicações que envolvem contexto de mudança no uso e ocupação do solo.

ROBSON *et al.* (1993) aplicaram um modelo físico semi-distribuído, TOPMODEL, a duas bacias em Balquhidder, Escócia, com o intuito de (1) comparar a resposta hidrológica das duas bacias, (2) relacionar essas respostas aos mecanismos de geração de fluxo que operam nas bacias, e (3) considerar os efeitos que mudanças no uso da terra possam ter ocasionado. O modelo utiliza um índice topográfico que realça áreas hidrológicamente significativas nas bacias. O modelo é empregado para simular o escoamento superficial e para comparar o comportamento das duas bacias. Os resultados indicam que uma grande parcela da água na calha é gerada de áreas de contribuição saturadas (áreas fonte); a bacia Monachyle tem maiores contribuições de água desse tipo. Os resultados também indicam que a hidrologia da bacia Monachyle vem mudando seguindo o melhoramento agrícola pelo aumento da drenagem; foi observada resposta de subsuperfície úmida. TOPMODEL é um modelo usado para prever e consequentemente entender os mecanismos de precipitação-escoamento superficial. É um ajuste entre a complexidade de modelos totalmente distribuídos e a relativa falta de sofisticação dos modelos

acumulados. A heterogeneidade na topografia da bacia é incorporada no TOPMODEL através de um índice topográfico,  $\ln(a/\tan\beta)$ , em que  $a$  é a área drenada através de uma célula regular por unidade de comprimento de curva de nível e  $\tan\beta$  é o gradiente médio de vazão de saída da célula e o movimento da água através da bacia baseia-se em uma simples representação dos processos físicos. O índice é calculado a partir de um Modelo Numérico de Terreno ao longo de uma malha cobrindo a bacia. A malha deve ser suficientemente fina para resolver importantes formações características de inclinação. Índices altos usualmente indicam uma parte molhada da bacia; isso pode ser devido a uma grande área de contribuição de drenagem (fundos de vale ou depressões convergentes) ou a vertentes muito planas (áreas alagadiças no topo dos morros). Áreas com índices baixos são usualmente mais secas, resultado tanto de inclinações acentuadas como de pequenas áreas de contribuição. Células com mesmo índice se comportam hidrológicamente de modo similar. Assim, a topografia da bacia pode ser resumida pela distribuição dos valores dos índices. Um Modelo Numérico de Terreno foi produzido para avaliação do índice  $\ln(a/\tan\beta)$ . Esse mapa foi gerado em escala  $100\text{m} \times 100\text{m}$  por interpolação a partir das curvas de nível de um mapa 1:10.000. A área,  $a$ , usada nesse índice, representa a área da bacia que drena através de uma dada célula. Essas áreas são acumuladas no sentido descendente da bacia até atingirem a calha principal. Mapas dos valores dos índices mostram que as bacias são diferentes em termos da distribuição espacial de  $\ln(a/\tan\beta)$ . Em geral, os mapas de índices correspondem bem às impressões da umidade da bacia obtidas por experiência de campo.

WIGMOSTA *et al.* (1994) descreveram um modelo que leva em conta explicitamente a distribuição espacial dos processos superficiais, e pode ser aplicado em uma grande amplitude de escalas. O nível de detalhamento do modelo é suficiente para representar processos importantes e feedbacks no sistema hidrológico-florestal de forma fisicamente realista, consistente com os tipos de dados normalmente disponíveis para entrada e para avaliação de modelos. Dependendo do tipo, da qualidade e da duração da coleta de dados de localização específica, o modelo pode ser rodado usando tanto medidas de campo detalhadas, com valores de parâmetros retirados da literatura ou usando os dados de saída de outros modelos (por exemplo, ventos orográficos e precipitação). Assim, foi descrito um modelo hidrológico-vegetal espacialmente distribuído que inclui interceptação pela copa, evaporação, transpiração, acumulação e derretimento de neve, e geração de escoamento superficial de excesso de saturação. O modelo foi aplicado à bacia Novelty Hill, de 37ha. A área tem inclinações entre 1% e 5% e cobertura vegetal de floresta. O solo é constituído pela liteira da floresta, uma escura camada orgânica com 0,15m de espessura,

sob a qual se encontra um solo arenoso bruno a areno-siltoso. A camada arenosa chega a 1m e cobre um denso “Vashon till”. Dados digitais de elevação são usados para modelar importantes controles topográficos sobre a radiação solar incidente, a precipitação, a temperatura do ar e o movimento descendente da água. Equações unidimensionais de umidade e balanço de energia são resolvidas independentemente para cada célula do grid. As células do grid podem trocar escoamento subsuperficial com as oito células adjacentes. Como em todos os modelos deste tipo, a disponibilidade de dados espacialmente distribuídos para entrada e verificação do modelo é limitada, especialmente para regiões montanhosas. A melhoria na performance do modelo exigirá uma representação mais acurada dos efeitos orográficos na velocidade do vento, precipitação e temperatura do ar.

VIEUX e FARAJALLA (1994) utilizaram um conjunto de dados espacialmente variáveis composto de coeficientes de rugosidade para modelar o escoamento superficial direto. Foram aplicados vários graus de suavização para obter informações sobre os dados espacialmente variáveis e sua significação na modelagem distribuída. O erro resultante da suavização dos coeficientes hidráulicos de rugosidade é determinado pela modelagem do fluxo superficial usando uma solução de elementos finitos. A modelagem distribuída de fenômenos hidrológicos depende da escala espacial. Esses modelos devem utilizar a informação espacial diretamente sem acumulações desnecessárias.

CHRISTENSEN (1994) desenvolveu um modelo hidrológico numérico para a bacia do rio Tude Å, que abastece a cidade de Slagelse, na Dinamarca, utilizando dados de campo abrangentes com o objetivo de investigar as consequências das retirada de água do aquífero de modo geral e sobre o fluxo de corrente em particular. A área da bacia, de 450km<sup>2</sup>, foi dividida em elementos retangulares com 500m de lado. Essa distância é reduzida para 250m nas zonas ripárias, para definir as locações do rio com maior precisão. O solo encontrado na bacia é um solo de origem glacial (“till”). O modelo completo consistiu de um modelo de evapotranspiração simples, um modelo global de escoamento para um aquífero freático no bloco glacial, e um modelo tradicional bidimensional por diferenças finitas de água subterrânea para um aquífero fluvio-glacial confinado. Devido à heterogeneidade do aquífero freático, seus escoamentos horizontais foram modelados de forma global (acumulada). Essa componente do modelo emprega valores espacialmente constantes de produção específica, constantes temporais e profundidade de nível de solo para as calhas. Para a modelagem do aquífero confinado a divisão em zonas é feita principalmente com base na transmissividade de campo estimada por processo de “krigagem”

utilizando 225 valores experimentais de transmissividade. Para o modelo de evapotranspiração, as capacidades de umidade foram distribuídas em zonas, levando em conta o real uso do solo e o tipo de solo. Os resultados indicam que as retiradas atualmente realizadas induzem um aumento de 25% no vazamento do aquífero freático para o confinado, e reduzem o fluxo de base da corrente em toda a bacia em 30% em anos normais e 35% em anos secos. A redução é consideravelmente menor para as bacias acima da corrente.

IORGULESCU e JORDAN (1994) aplicaram o modelo TOPMODEL a duas sub-bacias pertencentes à bacia Haute-Mentue, localizada na região do Platô Suíço, cerca de 20km distante de Lausanne. A bacia apresenta área de 12,5km<sup>2</sup> e altitudes variando de 930m a 694m. A inclinação média é de 4°. Predominam os cambissolos, e a camada de solo tem profundidade de 1m. A bacia tem 55% de sua área coberta com floresta, sendo o restante utilizado para agricultura com plantações variadas e pastagem perene. Foram utilizadas células de grid de 5m e 10m para um MNT derivado de curvas de nível de 1m de equidistância. Células de grid de 10m e 25m foram utilizadas para um MNT desenvolvido a partir de curvas de nível com 10m de equidistância de um mapa topográfico com escala 1:50 000. O parâmetro de “posição” ( $\lambda$ ) torna-se maior e a amplitude de distribuição é reduzida com o aumento do tamanho do grid e a diminuição da precisão do mapa suporte. O tamanho do grid atua como o limiar para a área de drenagem à montante ( $a$ ) em lugares próximos ao divisor da bacia. Tamanhos de grid maiores juntamente com um MNT menos preciso suavizam a topografia, reduzindo assim a variabilidade da  $\tan\beta$  mas também diminuindo sua média geométrica (o que equivale a um aumento no parâmetro de “posição”). Mesmo para a estrutura simples do TOPMODEL com exigências de entradas limitadas, a interação entre os parâmetros pode levar a diferentes mecanismos modelados e interações físicas. Diferenças entre os mecanismos dominantes de geração de escoamento superficial nas bacias não puderam ser explicados completamente. Os resultados do modelo foram compatíveis com investigações de campo, sugerindo que a topografia é relevante mas não suficiente para desconsiderar fatores geológicos e de solo em determinadas áreas saturadas.

ZHANG e MONTGOMERY (1994) utilizaram dados digitais de elevação de alta resolução de duas pequenas bacias hidrográficas para examinar o efeito do tamanho do grid do Modelo de Elevação Digital na representação da superfície do solo e simulações hidrológicas. Os dados de elevação foram divididos em escalas de grid de 2m, 4m, 10m, 30m e 90m para gerar



uma série de paisagens simuladas. As distribuições de frequência de inclinação ( $\tan\beta$ ), área de drenagem por comprimento das curvas de nível ( $a$ ), e o índice topográfico ( $a/\tan\beta$ ) foram calculadas para cada modelo de tamanho de célula. As distribuições de frequência de  $a/\tan\beta$  foram então usadas para predição de zonas de saturação superficial e para simular hidrogramas no TOPMODEL. Para as duas bacias o tamanho do grid do Modelo de Elevação Digital afeta os parâmetros topográficos computados e os hidrogramas. Enquanto a simulação domina as características do hidrograma para bacias grandes, o tamanho do grid efetivamente influencia os modelos distribuídos de geração de escoamento superficial e processos superficiais. Um tamanho de grid de 10m fornece uma substancial melhoria com relação aos dados de 30m e 90m, mas dados de 2m e 4m fornecem apenas melhoria adicional marginal para o gradiente topográfico de moderado a íngreme encontrado nas áreas em estudo. As análises sugerem que, para muitas paisagens, um tamanho de grid de 10m representa uma solução racional entre o aumento da resolução e o volume de dados para simulação de processos geomorfológicos e hidrológicos. Predizer taxas e padrões espaciais de geração de escoamento superficial e de muitos processos geomórficos requer tanto um modelo hidrológico como a caracterização da superfície do solo. Modelos Digitais de Elevação são freqüentemente utilizados para caracterizar a inclinação local dos terrenos e a área de drenagem por comprimento de curva de nível. Apesar de a crescente disponibilidade desses modelos permitir rápida análise de atributos topográficos até mesmo sobre grandes bacias de drenagem, não se tem examinado sistematicamente o grau de efeito que o tamanho do grid exerce sobre a representação da superfície do solo. Os dados de elevação digitais são armazenados em um dos seguintes formatos: como dados de elevação pontuais tanto em malhas regulares como em rede triangular integrada, ou como curvas vetorizadas armazenadas em um gráfico de linhas digital. A primeira das duas áreas em estudo apresentava 0,3km<sup>2</sup>. As inclinações variavam de 30° a 40°. Foi utilizado um mapa topográfico derivado de fotografias aéreas de baixa altitude como fonte dos dados de elevação digital. Esse mapa de base foi digitalizado em “scanner” e vetorizado pela utilização de uma rotina automática para reproduzir curvas de nível idênticas às do mapa topográfico original. Apesar de muita discrepância ter sido observada entre esse mapa e a superfície do solo, assumiu-se que esses dados forneciam uma representação precisa da superfície do solo. A segunda bacia ocupava uma área de 1,2 km<sup>2</sup>, com inclinações variando entre 20° a 30°. Os dados de elevação digital foram obtidos de fotografias aéreas de baixa altitude. As elevações foram transformadas em malhas para gerar um mapa com intervalo de curvas de nível de 5m. Investigações de campo revelaram que os dados forneciam

excelente representação da superfície do solo. Os dados de elevação das células das duas bacias geraram malhas de 2m, 4m, 10m, 30m e 90m utilizando o módulo de grid do programa ARC/INFO. Os resultados indicaram que não é razoável usar tamanho de grid de 30m ou 90m para modelar vertentes ou processos de geração de escoamento superficial em topografias de moderadas a íngremes sem que seja feita efetuada calibração do modelo. Enquanto um grid de 10m representa um avanço sobre grids de 30m ou maiores, tamanhos menores de grid fornecem relativamente pouca resolução adicional. Assim, um tamanho de grid de 10m representa uma razoável relação entre resoluções espaciais crescentes e exigências de manuseio de dados para a modelagem de processos superficiais em grande número de paisagens.

WOLOCK (1995) analisou os efeitos do tamanho da sub-bacia nas características topográficas de uma bacia hidrográfica de 111,5 km<sup>2</sup> em Vermont (EUA) utilizando o modelo hídrico TOPMODEL. A média e a variância da distribuição de  $\ln(a/\tan\beta)$  foram computados para vários conjuntos de sub-bacias (0,05km<sup>2</sup> a 111,5 km<sup>2</sup>) ao longo das correntes na bacia e usados como input do modelo. Em geral, as estatísticas da distribuição da função logarítmica e a porcentagem simulada do fluxo superficial no fluxo total aumentaram rapidamente para algumas sub-bacias e decresceram rapidamente para outras, à medida que o tamanho da sub-bacia aumentava de 0,05km<sup>2</sup> até 1 km<sup>2</sup>, e em geral aumentaram para um tamanho de sub-bacia de 5 km<sup>2</sup>, e permaneceram relativamente constantes para um tamanho de sub-bacia maior que 5 km<sup>2</sup>. Diferenças nas trilhas de fluxo simuladas entre bacias de todos os tamanhos (0,05km<sup>2</sup> a 111,5 km<sup>2</sup>) foram causadas por diferenças nas estatísticas da distribuição da função logarítmica, e não por diferenças no arranjo espacial explícito dos valores da função dentro das sub-bacias. Análises químicas realizadas em outra bacia localizada a sudeste de Nova Iorque sustentam a hipótese de que o tamanho da sub-bacia afeta as características da trilha de fluxo. A distribuição da função logarítmica foi computada a partir de um modelo de elevação digital com resolução de 30m derivado, por sua vez, de mapas topográficos em escala 1:24.000. Para isso foi calculada a área total de drenagem em cada célula do grid ( $A$ ), bem como o comprimento do contorno ( $C$ ) e o gradiente de inclinação ( $\tan\beta$ ) ao longo do qual a drenagem para fora da célula ocorre ( $a = A/C$ ). Uma abordagem de sub-bacias foi utilizada para avaliar os efeitos do tamanho da sub-bacia nas estatísticas da distribuição de  $\ln(a/\tan\beta)$ . Tal abordagem determinou esses efeitos para sub-bacias drenando para a mesma corrente e avaliou diferenças entre conjuntos de sub-bacias drenando para diferentes correntes. Os resultados do estudo demonstram a existência de padrões nos efeitos do tamanho da sub-bacia sobre as estatísticas de distribuição da função logarítmica e sobre as

trilhas de fluxo simulados pelo TOPMODEL para a bacia do Rio Sleepers. Os resultados levam a que uma sub-bacia deve ter uma área de pelo menos 5 km<sup>2</sup> para que possa ser considerada representativa, em termos de características topográficas e redes de fluxo simuladas, de sub-bacias maiores ao longo da mesma corrente. Também deve-se tomar cuidado na extrapolação de áreas de pesquisa pequenas (menores que 1 km<sup>2</sup>) para áreas maiores.

GARROTE E BRAS (1995) apresentaram um modelo distribuído para simulação da precipitação-escoamento superficial em tempo real durante eventos de cheia. O modelo, denominado Simulador Distribuído de Bacias (DBSIM, em inglês) está baseado na informação topográfica detalhada fornecida por modelos de elevação digital. A representação da bacia utiliza a malha retangular do modelo de elevação digital. As propriedades do solo, os dados de entrada e as variáveis também são representadas como planos de dados pela utilização do mesmo esquema. A entrada da precipitação distribuída é usada para mapear topograficamente a evolução das áreas saturadas à medida em que a tempestade progride. A performance do modelo foi analisada com a utilização da bacia Sieve como estudo de caso. O rio Sieve é um dos tributários do Rio Arno, que drena uma área de 8.000km<sup>2</sup> ao noroeste da península Itálica. A confluência dos rios Sieve e Arno localiza-se próximo a Florença, sendo a área da bacia Sieve de aproximadamente 840km<sup>2</sup>. A bacia tem formato alongado e o rio principal corre na direção sudeste. À exceção dos vales, dedicados à agricultura, os terrenos são florestados e montanhosos, com média de elevação de 470m acima do nível do mar. A elevação do pico mais alto é de 1.657m, e a calha se encontra 50m acima do nível do mar. O clima é mediterrâneo e a estação chuvosa vai de outubro a abril, com picos em novembro e fevereiro. O Modelo Numérico de Terreno disponível para a bacia Sieve tinha resolução de 1m em elevação e tamanho de célula de 400 × 400m<sup>2</sup>. Também havia disponibilidade de dados sobre parâmetros físicos da bacia e várias tempestades observadas. A maior parte dos parâmetros foi estimada pela utilização das informações disponíveis de topografia e tipos de solo. O MNT forneceu informações sobre inclinações e direções de drenagem. Para os parâmetros de solo foi utilizada a caracterização de 17 tipos de solo para a bacia Sieve, com definição de condutividade hidráulica saturada e porosidade. Apesar de haver outros modelos distribuídos que oferecem representações mais detalhadas dos processos físicos, DBSIM fornece uma alternativa realística para simulação distribuída em tempo real em larga escala. Mesmo aplicado a bacias com mais de 50.000 células, o tempo de simulação é inteiramente satisfatório.

LAPEN e MARTZ (1996) investigaram a associação entre profundidade da cobertura de neve e topografia e cobertura vegetal em uma bacia agrícola localizada na pradaria canadense. A bacia apresentava área de 2km<sup>2</sup>, com média de elevação de 533m. As inclinações variavam entre 9° nas margens dos cursos d'água a menos de 0,1° nas porções superiores do centro da bacia. Foram determinados três tipos de cobertura vegetal: palha de trigo, cultivo de verão e cultura de grãos abandonada por condições de umidade insatisfatórias. Foi empregado um modelo numérico de terreno com resolução de 10m × 10m. A análise envolveu o agrupamento das observações das profundidades da neve com base nas características topográficas e de cobertura vegetal nos locais em que foram realizadas as observações. Procurou-se determinar até que ponto unidades de paisagem relativamente simples, porém objetivamente definidas, seriam capazes de modelar empiricamente a complexa interação entre variáveis de topografia e cobertura vegetal na regulação dos processos de redistribuição de neve no local de estudo. A classificação produziu um modelo simples que subdividiu a área em seis unidades de terreno definidas quantitativamente pelo tipo de cobertura vegetal e posição topográfica relativa. O resultado mais significativo da análise indicou que a profundidade da neve estava mais diretamente correlacionada às variáveis topográficas que indicam a posição relativa na paisagem do que àquelas que expressam a morfologia local da superfície do solo. Assim, o padrão espacial da profundidade de neve na paisagem foi mais fortemente influenciado pela orientação das vertentes e sua posição relativa do que pela forma da vertente.

Uma das maiores simplificações dos modelos globais de precipitação-escoamento superficial é a não consideração da distribuição espacial do excesso de chuva na bacia hidrográfica. Nos modelos globais o excesso de precipitação é considerado apenas como função do tempo e seu valor em qualquer ponto é igual à intensidade média em toda a bacia a qualquer tempo. Essa premissa é válida somente para bacias muito pequenas (WANG e CHEN, 1996). Devido às limitações dos modelos globais, esforços têm sido feitos para considerar as distribuições espaciais não uniformes da precipitação. As entradas espacialmente distribuídas podem ser representadas pelas entradas desiguais dos vários reservatórios. Nesses modelos, a convolução numérica é utilizada para converter a entrada de uma célula ou sub-bacia em saída, que será utilizada como entrada na célula seguinte. Em uma célula interna com múltiplos fluxos de entrada, todos os hidrogramas de entrada são somados para formar um único hidrograma de entrada o qual é direcionado através da célula. No entanto, uma solução analítica não foi dada para o modelo espacialmente distribuído sobre toda a área da bacia. O objetivo do estudo foi

fornecer a solução analítica do modelo linear espacialmente distribuído na área total de uma bacia hidrográfica, para avaliar o modelo com dados publicados, e comparar o modelo com outros modelos disponíveis. A rede de drenagem em uma bacia hidrográfica tem uma estrutura ramificada. Assim, o arranjo das sub-bacias e suas interconexões terão igualmente estrutura ramificada. Baseado na estrutura de uma rede de drenagem, a bacia pode ser dividida em uma série de sub-bacias. A aplicação do modelo espacialmente distribuído foi demonstrada pela utilização dos dados referentes à bacia Wills Creek, com 640km<sup>2</sup>. Nessa bacia, a inclinação média dos terrenos é de 20% de declividade. A bacia foi dividida em 18 sub-bacias. As vantagens do modelo desenvolvido foram ilustradas por comparação com os modelos globais para diferentes condições. Com base no padrão de fluxo que contribui para a estação medidora, a bacia pode ser dividida em várias sub-bacias sobre as quais o excesso de chuva e as condições geográficas físicas se aproximam da uniformidade. De acordo com o sistema de análise apresentado, uma equação diferencial ordinária representando a relação entre a entrada, a saída e a função da sub-bacia pode ser derivada. Várias equações diferenciais ordinárias são montadas para formar a equação total do sistema da bacia. O modelo proposto foi capaz de prever o escoamento superficial de precipitações não uniformes e sob diferentes condições geográficas em toda a área da bacia. Os resultados podem ser aplicados no controle de cheias, movimento da erosão e transporte de solutos associado a bacias agrícolas. Esse modelo pode ser empregado para simular processos de escoamento superficial em bacias médias ou grandes, com condições fisiográficas complexas. Toda a bacia pode ser dividida em várias sub-bacias que também são divididas em sub-bacias de menor ordem nas quais a precipitação e as condições fisiográficas são consideradas uniformes. Com o uso de hietogramas da chuva medidos em cada sub-bacia e de hidrogramas do escoamento superficial, valores ótimos para os parâmetros de infiltração e escoamento superficial podem ser simultaneamente estimados e relacionados às características de cada sub-bacia, como tipo de solo e comprimento e inclinação da superfície, o que pode ser determinado por um sistema de informações geográficas.

Assim como acontece com os recursos hídricos superficiais, a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos são cada vez mais ameaçados pela exploração excessiva e contaminação. Predizer o movimento subsuperficial e o balanço da água e dos contaminantes são problemas complexos. Geralmente, a solução desses problemas requer a integração, compilação e fusão de muitos tipos díspares de dados em uma caracterização subsuperficial tridimensional de importantes características hidrogeológicas. Para focalizar essa questão, GUMBRICHT E

THUNVIK (1997), estudando uma área estuarina de grande complexidade estratigráfica com altas variações de profundidade, próxima à cidade de Kalmar, situada na região sudeste da Suécia, buscaram determinar quantitativamente a distribuição, a direção e a taxa do movimento tridimensional de contaminantes em subsuperfície. Para isso, partiram de um SIG 2D ao qual foi adicionada a coordenada  $z$ , representando a profundidade, no mesmo sistema e resolução das coordenadas  $x$ - $y$ . Foi feita digitalização a partir de mapa geológico e os dados de elevação foram obtidos das linhas de contorno digitalizadas. Esses dados vetoriais foram transformados em formato raster (malha retangular) com resolução de 25, 50, 100 e 200 metros, utilizando o SIG IDRISI 4.1. Se os dados estão em formato raster, cada célula 3D é chamada voxel (*de volume pixel*, ou célula). Tal formato de dados é adequado como entrada para modelos baseados em diferenças finitas. A complexidade da área em estudo exigiu um grande número de iterações antes de ser obtida uma estrutura hidrogeológica satisfatória. Alguns pontos com informações errôneas foram descartados. Os três mapas originais (geologia, elevação e pontos com dados dos perfis) estavam em diferentes escalas, causando problemas de exatidão posicional. Foi obtido um modelo de transmissividade utilizado na modelagem dos fenômenos de transporte na água subterrânea (a modelagem da recarga, fluxo e transporte de contaminantes não foi contemplada nesse trabalho). Os autores concluem que a construção de modelos digitais tridimensionais de estrutura hidrogeológica não é uma tarefa trivial. Os problemas originados da alta variabilidade das características hidrológicas do aquífero estudado indicam o uso de métodos geoestatísticos tridimensionais mais sofisticados.

A recente difusão da disponibilidade de dados digitais de terreno tornou populares os procedimentos automáticos de análise topográfica. Estudos anteriores têm demonstrado que modelos hidrológicos e seus valores de parâmetro efetivos dependem da resolução do grid de elevação. SAULNIER *et al.* (1997a, b) analisaram os dados de elevação raster dentro da estrutura de um modelo baseado em topografia, o TOPMODEL. Foi demonstrado que o algoritmo usado no processamento dos pixels do canal para cálculo do índice topográfico =  $\ln(a/\tan\beta)$  pode ter efeito dramático sobre a sensibilidade dos valores de parâmetro efetivos ao tamanho do grid. A dependência existente entre a escala do grid e os valores de parâmetro efetivos em modelos hidrológicos distribuídos foi reconhecida no passado mas não é bem compreendida. O rápido aumento no poder computacional e na disponibilidade de sistemas de informação geográfica e mapas digitais de terreno tem encorajado o uso de modelos distribuídos. O modelo TOPMODEL foi uma das primeiras tentativas de modelar respostas hidrológicas distribuídas baseadas em

conceitos de área de contribuição variável. Ele tornou-se cada vez mais conhecido recentemente uma vez que fornece uma estrutura relativamente simples para o uso dos dados digitais de elevação e para entrada para a predição distribuída. Em algumas bacias, sabe-se que a dinâmica da umidade no solo não pode ser bem prevista com base na variabilidade topográfica apenas. A variabilidade espacial da transmissividade dentro da bacia não é a única variável de solo importante no controle da dinâmica da área de contribuição; profundidade efetiva do solo também pode ser importante. No TOPMODEL, essas profundidades efetivas do solo podem ser simuladas indiretamente pela distribuição da taxa de decréscimo da transmissividade com a profundidade. Este artigo estuda a sensibilidade das respostas previstas à variabilidade da profundidade efetiva do solo. O estudo foi realizado na bacia Maurets (8,4km<sup>2</sup>), uma sub-bacia pertencente à bacia experimental do Réal Collobrier (71km<sup>2</sup>), localizada no sul da França. As altitudes variam de 209m a 770m. A vegetação é tipicamente mediterrânea, com uma mistura de florestas e vegetação rasteira. Foi preparado um mapa de elevação digital com resolução de 20m, pela digitalização de curvas de nível de 10m de intervalo de um mapa em escala 1:25.000. A versão inicial do TOPMODEL aplicada à bacia Maurets foi uma versão baseada em evento, considerando homogeneidade de solos em toda a bacia. Foram testados dois tipos muito diferentes de padrões de profundidade efetiva do solo. Como primeiro teste de sensibilidade, assumiu-se que os valores efetivos eram uma função linear decrescente da elevação. Foi conduzida uma segunda análise, na qual a variabilidade espacial efetiva das profundidades do solo foi considerada uma função linear decrescente da inclinação topográfica. Uma justificativa para esse tipo de função pode ser feita com base no maior potencial de erosão em inclinações mais acentuadas. Foi mostrado como a heterogeneidade da profundidade efetiva do solo pode ser incorporada facilmente na estrutura do TOPMODEL, resultando em uma equação modificada para prever o déficit de saturação local.

BOURAOUI *et al.* (1997) utilizaram o modelo ANSWERS para simular o transporte superficial e subsuperficial de água no solo em uma região denominada “La Côte St André”, localizada em Grenoble, sudeste da França. A bacia tem aproximadamente 320 km<sup>2</sup> e elevações que variam de 480m a 250m. Cerca de 80% da área da bacia é uma planície coberta com solo muito permeável e fértil, cercada de morros com inclinação média de 7,70%. A cobertura vegetal dos morros consiste de grama e floresta; a planície é cultivada com milho e tabaco irrigados, girassol e milho de sequeiro. Na área plana, a camada arável é rasa (média de 1m de profundidade), composta de solo franco arenoso, e rica em matéria orgânica. Quase não há rede

hidrográfica devido à alta capacidade de infiltração da camada arável. No estudo, a parte hidrodinâmica do modelo foi modificada para considerar a interação entre a zona radicular e o aquífero pela inclusão de múltiplos planos. No modelo, a bacia foi dividida em unidades de volume com áreas de superfície regulares; geralmente a área sugerida é de 1ha, no entanto tamanho maior pode ser considerado para condições homogêneas. Cada bloco é caracterizado pela topografia, propriedades hidrodinâmicas do solo e características da vegetação. Verticalmente os blocos são discretizados em diferentes camadas para contemplar o movimento da água através do perfil do solo da superfície até o aquífero. O modelo utilizou uma escala de grid para obter validação entre os dados de saída e as medidas de fluxo da água para diferentes coberturas. Um modelo contínuo, de fonte não pontual distribuída, foi desenvolvido para estimar a recarga do aquífero afetada pela distribuição espacial das propriedades do solo, e a variabilidade espacial e temporal das práticas de manejo agrícola. O modelo apresentou bom desempenho na reprodução dos valores piezométricos principais e variações em vários poços.

Com o objetivo de investigar os efeitos do tamanho da malha na simulação da geração do escoamento superficial, JOLLEY e WHEATER (1997) aplicaram um modelo geral de circulação atmosférica (AGCM) a duas grandes bacias do Reino Unido, as bacias dos rios Severn e Thames, utilizando malha de 40km. Na bacia do rio Severn, são encontrados Solos Podzólicos e argilosos mal drenados. O solo é cultivado com pastagem e grãos. Na bacia do rio Thames, os solos vão de franco arenosos bem drenados a argilosos mal drenados. O cultivo de grãos é mais expressivo que na outra bacia. Foram introduzidas funções de distribuição para representar a variabilidade espacial da precipitação e da capacidade de água disponível no solo. As funções de distribuição se mostraram ferramenta útil para análise dos controles chave na geração de fluxo superficial na escala de sub-grid, e desta forma, para auxiliar o desenvolvimento dos modelos de larga escala baseados em malhas. As largas escalas de malhas utilizadas nos modelos meteorológicos de larga escala e nos modelos gerais de circulação atmosférica (cerca de 50km e maiores que 100km, respectivamente) apresentam graves problemas metodológicos para os pesquisadores, uma vez que são muitas ordens de magnitude maiores que a escala de comprimento das características da superfície e das variáveis meteorológicas que regem os processos hidrológicos (por exemplo, topografia, precipitação, radiação). Esses problemas se devem à natureza não linear dos processos hidrológicos relacionados à geração de escoamento superficial e à evaporação. O modelo de balanço hídrico diário foi aplicado a ambas as bacias por um período de 10 anos (1981-1990), utilizando malhas regulares de 40km. A escala foi escolhida por ser consistente com os tamanhos



de malha freqüentemente utilizados nos modelos meteorológicos de meso-escala, por ser significativamente maior que a escala de comprimento das características superficiais e entradas meteorológicas, e por ser a escala em que opera o sistema de cálculo da evaporação da chuva do Escritório Meteorológico (MORECS), cujos dados de evapotranspiração potencial foram utilizados no estudo. Os resultados obtidos se mostraram consistentes com estudo prévios que utilizaram escala de tempo mensal e sugeriram que o modelo de balanço hídrico simples foi capaz de reproduzir com razoável precisão a média do balanço hídrico anual daquelas duas grandes bacias hidrográficas sem calibração de parâmetros. Os erros sistemáticos no escoamento superficial são consistentes com a utilização da agregação linear a processos de escala não lineares, e indica que o uso de parâmetros médios em escala de grid fornece estimativas da tendência dos fluxos médios em malhas regulares. Para identificar quais fatores controlam a magnitude da tendência, a escala foi aumentada para 100km. Os resultados não foram conclusivos, mas sugeriram que os efeitos da alteração no tamanho da escala podem ser dependentes dos controles hidrológicos dominantes. A aplicação de modelos distribuídos introduz o problema de como identificar os parâmetros de distribuição. A validação de um modelo de balanço hídrico de larga escala utilizando o escoamento superficial observado proporcionou valiosa compreensão dos controles de larga escala da geração do escoamento superficial.

DUNN *et al.* (1998) têm utilizado modelos matemáticos para desenvolver um sistema de suporte à decisão para o manejo integrado da bacia Ythan, na Escócia. Um dos componentes desse sistema envolveu o desenvolvimento de um modelo hidrológico distribuído em escala de bacia. O modelo se baseia no caminho do fluxo subsuperficial e calcula a contribuição ao curso d'água de cada uma das células de 50m × 50m na bacia de 548 km<sup>2</sup>. A bacia Ythan apresenta elevações de até 300m, e a agricultura é conduzida em solos geralmente bem drenados, sendo mais comum a presença de solos franco arenosos finos. Há o cultivo de grãos, além da presença de pastos e de um pouco de áreas florestadas com coníferas. Há apenas uma pequena área urbana na bacia. O modelo utiliza dois parâmetros topográficos, a inclinação e a distância à calha seguindo a linha principal do fluxo, e cinco parâmetros físicos (condutividade hidráulica do solo saturado, porosidade do solo, limiar de armazenamento no solo para resposta de fluxo rápida, distância de resposta rápida, mínima estocagem no solo/parâmetro de inclinação. Este último parâmetro é definido em função da inclinação, uma vez que a mínima estocagem no solo para células individuais diminui à medida que a inclinação aumenta). A análise topográfica e a

acumulação do fluxo distribuído são obtidos pela amarração do modelo de célula única com um Sistema de Informações Geográficas. A bacia Ythan é considerada atípica em relação às bacias escocesas em termos de características físicas pela sua surpreendente homogeneidade de ocupação do solo, topografia e tipos de solo. Assim, a modelagem é simplificada, porque o comportamento da bacia pode ser mais facilmente interpretado como um todo. Além disso, facilita a identificação de algumas das influências mais sutis que aspectos como o manejo da terra exercem na resposta final do rio. Um componente importante da modelagem é identificar as relações espaciais entre o uso da terra, topografia e concentrações de nitrato nos cursos d'água. Acredita-se que a abordagem distribuída é a mais adequada para modelagem de problemas de poluição difusa uma vez que as concentrações de nitrato que aparecem nas correntes são muito dependentes da localização da fonte. O componente espacial também será inestimável no desenvolvimento dos planos de manejo futuros porque auxiliará na identificação de características particulares da bacia suscetíveis de gerar altas concentrações de nitrato na corrente de água. Essas características incluem propriedades físicas tais como inclinação do terreno e distância até a corrente de água, ao lado de uso da terra e manejo. A modelagem deve ser executada em duas escalas: na parcela, em que a modelagem detalhada da cultura poderá prever quanto nitrato é lixiviado abaixo da zona radicular por diferentes culturas, sob variados tratamentos culturais; e escala de bacia hidrográfica, em que as previsões da modelagem nas parcelas serão associadas e direcionadas através da rede de drenagem. Os objetivos do modelo distribuído são, em primeiro lugar, registrar a heterogeneidade das propriedades físicas e, em segundo lugar, permitir calcular os fluxos em diferentes localizações dentro da bacia. Se o conceito de fluxo subsuperficial em uma bacia é simplificado de tal forma que cada ponto drene apenas na direção da maior inclinação, como um estimador do gradiente hidráulico principal, então para cada ponto da rede de drenagem uma única área de contribuição de vertente pode ser identificada. Resultados obtidos no modelo de vertentes indicam que os fluxos de vertentes podem ser desagregados até o nível de células de contribuição individuais. O modelo distribuído da bacia foi construído pela junção do modelo de células individuais com dados topográficos distribuídos utilizando o Sistema de Informações Geográficas ARC/INFO. O modelo se baseia em um modelo numérico de terreno, com resolução de 50m, e de mapas em escala 1:50.000. Os resultados preliminares de três anos de simulações dos fluxos diários mostraram que o modelo é capaz de prever com sucesso as principais características do fluxo na bacia.

WATSON *et al.* (1998) realizaram um estudo na área que compreende 5 bacias de

abastecimento de água, conhecidas como bacias Maroondah (163km<sup>2</sup>). Os solos da bacia são profundos e permeáveis, e a cobertura vegetal predominante é de floresta de eucaliptos. Essas bacias abastecem a cidade de Melbourne, no sudeste da Austrália. Foi utilizado um modelo de função de distribuição em larga escala para investigar o efeito de diferentes esquemas de mapeamento de parâmetros na qualidade das previsões hidrológicas, pelo uso de duas técnicas diferentes de mapeamento dos parâmetros escolhidos, precipitação, topografia e Índice de Área Foliar. O primeiro conjunto de parâmetros utilizou interpolação tridimensional da precipitação, mapeamento do IAF de acordo com as espécies presentes na área e mapeamento da topografia por fotointerpretação. O segundo conjunto consistiu de interpolação linear unidimensional da precipitação, mapeamento do IAF por sensoriamento remoto e topografia definida por levantamento de campo. O esquema espacial utilizado foi único. As bacias foram inicialmente divididas em uma série de planos vertentes. Em seguida, foi calculado um índice topográfico de umidade para todas as porções de cada vertente, e áreas de índices similares foram agrupadas como unidades espaciais básicas do modelo, de forma similar à agregação do modelo TOPMODEL. Foi elaborado um modelo numérico de terreno, com resolução de 25m, a partir de um mapa digital de curvas de nível de 20m utilizando interpolação “spline”. Foram criados 131 planos vertentes, com área média de 123ha. O tamanho dos planos vertentes foi escolhido de modo subjetivo. A seguir, os planos vertentes foram desagregados de acordo com o índice topográfico de umidade. O agrupamento dos planos vertentes resultou em 1848 unidades espaciais básicas, com média de 14 unidades por plano vertente. A maneira pela qual o usuário de um modelo hidrológico escolhe usar a informação espacial tem implicações importantes para a resposta do modelo. Sempre há grande incerteza com relação à verdadeira natureza dos “inputs” espacialmente variáveis e não é certo que abordagens analíticas aparentemente mais sofisticadas levem a resultados mais precisos. É preciso considerar cuidadosamente se o modelo que está sendo utilizado é capaz de explorar informações mais detalhadas.

ARNOLD *et al.* (1998) descreveram o desenvolvimento e teste de um modelo distribuído de hidrologia glacial, utilizado para investigar o comportamento do sistema hidrológico do Haut Glacier d’Arolla, em Valais, Suíça. O objetivo principal do trabalho apresentado foi explorar o potencial de desenvolvimento e emprego de um modelo distribuído para prever e explicar o funcionamento dos sistemas de drenagem dos glaciares. A abordagem empregada envolveu a junção de três submodelos independentes: um submodelo do balanço de energia na superfície, um submodelo do caminho superficial e um submodelo hidrológico subglacial. O modelo utilizou um

esquema espacial de malhas regulares baseado no modelo numérico de terreno, com resolução de  $20\text{m} \times 20\text{m}$ . Os resultados mostraram que para modelar efetivamente hidrogramas de saída de bacias glaciadas, é necessário simular as variações espaciais e temporais nas taxas de derretimento superficial, o efeito retardado do bloco de neve da superfície e a configuração do sistema de drenagem subglacial em si. A capacidade do modelo de prever padrões espaciais e temporais detalhados das pressões e das velocidades da água subglacial pode torná-lo ferramenta valiosa na compreensão da dinâmica e hidroquímica dos glaciares. O modelo considerou os efeitos da inclinação da superfície do glacier, orientação e sombreamento pela topografia circundante.

A modelagem de precipitação-escoamento superficial em bacias de regiões quentes, áridas, de baixa latitude tornou-se um desafio devido à heterogeneidade espacial e temporal do ambiente, o que resulta na produção de eventos de cheia irregulares e extremos. Essas cheias provocam significativas perdas anuais de vidas e de propriedades em função do aumento populacional nessas regiões e da freqüente falta de planejamento a longo prazo. Assim, EL-HAMES e RICHARDS (1998) descreveram um modelo distribuído desenvolvido para predição tanto de cheias em regiões áridas como de perda por transmissão associada. O local estudado foi a bacia superior Tabalah, com área de  $170\text{ km}^2$ . Cerca de 80% da bacia são cobertos por cascalho e seixos. A área é dominada por três tipos de solo. Um deles é encontrado nas partes altas, constituindo-se de solos rasos com afloramentos rochosos. A camada superficial é composta de solo sandy loam com 10cm de espessura, e as inclinações presentes em áreas com esse tipo de solo variam de 0% a 30%. O segundo solo se encontra nas encostas íngremes das montanhas. As inclinações variam de 30% a 75%. O terceiro tipo de solo ocorre nos terraços aluviais ao longo das linhas de drenagem. Neste caso, as inclinações situam-se entre 0% e 2%. A área total da bacia foi dividida em 28 sub-bacias menores de acordo com a estrutura da rede de drenagem. Observou-se que três dos parâmetros de entrada são os mais efetivos fatores que afetam a forma e o volume do hidrograma de saída. Esses parâmetros são a quantidade de umidade inicial do solo, a condutividade hidráulica do solo saturado e o coeficiente de rugosidade de Manning. A variação das propriedades físicas da bacia e da calha foi superada pela divisão da bacia em um razoável número de unidades homogêneas no tocante à rugosidade. O modelo completo da bacia consistiu de submodelos do escoamento nas vertentes e nas calhas, que empregavam o caminho do escoamento na calha, o caminho do escoamento superficial e o modelo de infiltração (para vertentes e para calha). Os processos simulados incluíram a determinação da infiltração sobre as

vertentes e dentro do leito das calhas, o caminho do escoamento superficial e o caminho do escoamento nas calhas. Apesar das dificuldades na calibração completa do modelo, e da restrição imposta na qualidade dos dados usados, o modelo demonstrou sua capacidade em produzir resultados com um razoável grau de precisão, e com mínima calibração.

THIERFELDER (1998) realizou, na Suécia, um estudo da qualidade da água na interação bacia hidrográfica-lagos adotando uma abordagem estatística. Para isso, a área de drenagem de 87 lagos quimicamente monitorados foi digitalizada com respeito a geologia, solos e cobertura da terra (cobertura vegetal, ocupação da terra). A digitalização foi executada no programa ARC/INFO, estando a informação, assim, espacialmente distribuída. Após a transformação para o formato de grid do IDRISI, cada elemento da paisagem foi representado booleanamente como um conjunto distribuído de células às quais foi atribuído valor 1 dentro do elemento e valor zero em outros lugares. Quando as propriedades morfológicas do elemento distribuído são quantificadas e a informação transferida para um modelo de regressão, a distribuição espacial é perdida. Um modelo construído sob tais premissas pode ser chamado de semi-distribuído porque é na verdade um modelo global (acumulado), trabalhando com parâmetros que resumem as propriedades espaciais da paisagem. Foram utilizadas quatro categorias de dados geográficos: geologia, solos, cobertura do solo e topografia. As informações relativas a geologia e solos foram digitalizadas a partir de mapas padrão, comumente na escala 1:50.000. Informações referentes a cobertura do solo e topografia foram digitalizadas de mapas padrão baseados em fotografias, com intervalo de 5m entre as curvas de nível. Após a digitalização, toda a informação da paisagem foi transformada em malhas com resolução quadrática de  $25\text{m} \times 25\text{m}$  e georreferenciada no padrão sueco de unidades de grid. A base de dados resultante contém sete classes de leitos de rocha, onze classes de solos e quinze classes de cobertura do solo.

O desenvolvimento de modelos hidrológicos de vertentes tem, entre outras motivações, derivar a unidade básica de um modelo físico distribuído que não utiliza rede de malhas. A modelagem de processos hidrológicos de vertentes também é considerada importante porque todas as bacias de terras altas, ou seja, paisagens topograficamente estruturadas, podem ser concebidas como uma colcha de retalhos de planos vertentes. Muitos modelos distribuídos fisicamente baseados foram desenvolvidos tendo a vertente como a menor sub-unidade ou elemento de discretização. Comparada com a discretização de malhas, esse tipo de modelo tem a habilidade de ajustar o esquema espacial especificamente para a topografia real. Por outro lado,

exige um processamento dos dados topográficos mais pesado e sofisticado. BRONSTERT (1999) descreveu um modelo de planos vertentes desenvolvido como parte de um projeto de pesquisa multidisciplinar de manejo e modelagem da água e do transporte de sedimentos em pequenas bacias rurais. O modelo utilizou informações sobre uso do solo, vegetação e umidade inicial do solo. O desenvolvimento do modelo foi acompanhado por um extenso estudo de campo, para o qual a bacia Weiherbach, no sudoeste da Alemanha, foi amplamente utilizada. Determinou-se que uma área principal de aplicação seria a descrição das características hidrológicas de encostas agrícolas durante eventos de precipitação, incluindo a representação de processos rápidos de fluxo hidrológico, tais como infiltração e excesso de infiltração, incluindo o efeito de macroporos, fluxo subsuperficial insaturado, e escoamento superficial. Foram desenvolvidas três versões do modelo: uma versão unidimensional (vertical), outra bidimensional (horizontal/vertical) e uma terceira versão tridimensional, que é um modelo detalhado baseado em malhas para pequenas bacias. Para cálculo do escoamento superficial, a topografia foi espacializada em unidades de comprimento e inclinação (versão bidimensional do modelo) ou em malhas regulares (versão tridimensional). Na simulação do excesso de infiltração e erosão, os experimentos foram modelados pela versão bidimensional do modelo, e as vertentes foram divididas em elementos de 50cm de comprimento e 5cm de profundidade, produzindo um total de 880 elementos. Na versão tridimensional do modelo, a resolução espacial da área foi fixada em células de  $12,5\text{m} \times 12,5\text{m}$ . Os resultados obtidos mostraram que a versão tridimensional foi satisfatória, apesar das limitações com relação à previsão hidrológica. Na maioria das aplicações, o modelo apresentado produziu resultados coincidentes com as medições de escoamento superficial e conteúdo de umidade no solo. Dependendo dos objetivos da aplicação específica do modelo, pode ser mais conveniente utilizar um modelo semi-acumulado em escala apropriada, em que as funções de distribuição para algumas características essenciais da bacia sejam consideradas.

A análise dos artigos recolhidos na literatura mostra que em nenhum deles foi trabalhada a questão da espacialização. Não há justificativa para o porquê da utilização de um determinado esquema espacial na representação de bacias hidrográficas. Observou-se ainda que a maioria dos autores utilizou o esquema espacial de malhas regulares.

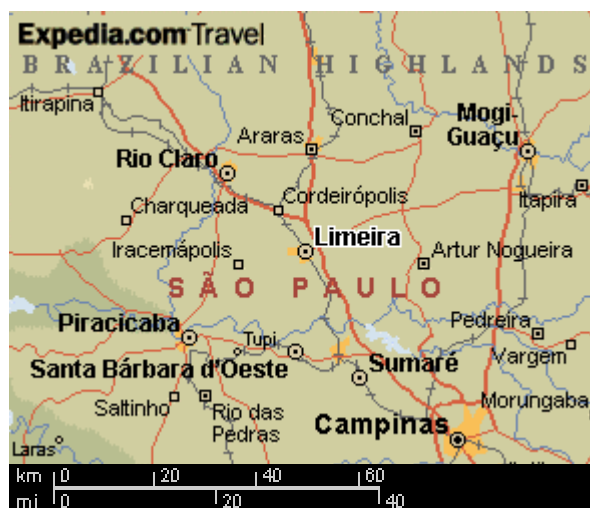
O presente trabalho buscou responder à questão de qual esquema espacial seria mais adequado para representar as características físicas de duas microbacias, levando em consideração aspectos como relevo, tipo de solo e cobertura vegetal.

## IV - MATERIAL E MÉTODO

Para a realização do trabalho foram selecionadas duas microbacias hidrográficas localizadas na região de Limeira, a 20km da cidade de Campinas. Essas microbacias apresentam características representativas das bacias hidrográficas da região, em relação à ocupação do solo, manejo e conformação física.

### 4.1 – Localização das microbacias hidrográficas

As duas microbacias hidrográficas selecionadas localizam-se na região de Limeira, no Estado de São Paulo, e apresentam superfície de drenagem de 4,6 km<sup>2</sup> e 0,9 km<sup>2</sup> respectivamente. A primeira, com cobertura predominante de cana-de-açúcar, foi denominada Bacia I, enquanto a segunda, com citros, foi denominada Bacia II. Ambas drenam para a represa do Tatu.



**Figura 1 - Localização do município de Limeira no Estado de São Paulo**  
(Fonte: <http://maps.expedia.com>)

As bacias apresentam altitudes variando entre 510m e 625m e contribuem para o abastecimento de água do município de Limeira.

As cartas plani-altimétricas do IGG-SP (Instituto Geográfico e Geológico) na escala 1:10.000 contêm as principais características topográficas básicas da área, além de informações como principais vias de acesso, divisor de águas das microbacias, rede de drenagem, posicionamento geográfico e limites de municípios. As informações topográficas foram digitalizadas com o objetivo de obter um modelo numérico de terreno.

## **4.2 - Modelo numérico de terreno e cartas de geomorfologia**

As informações topográficas das cartas plani-altimétricas do IGG-SP na escala 1:10.000 foram utilizadas para a determinação do modelo numérico de terreno. As cartas foram digitalizadas em “scanner” de rolo pelo processo de vetorização semi-automática e as curvas de nível foram exportadas do AutoCad (versão 14.0) para o programa Surfer (versão 6.01), para elaboração do Modelo Numérico de Terreno. O modelo foi gerado com resoluções de 5m × 5m, 10m × 10m e 30m × 30m. Esse modelo é fundamental para a determinação de cartas de parâmetros geomorfológicos georreferenciados para modelagem hidrológica.

A partir do MNT com resolução de 10m × 10m foram elaboradas cartas de altitudes, orientação dos terrenos e inclinação dos terrenos. Da mesma forma, as cartas de solos e de uso do solo utilizaram esta resolução do MNT como base de sua georreferenciação.

## **4.3 - Cartas de solos**

Para a elaboração das cartas de solos das microbacias foi utilizado levantamento pedológico realizado na década de 1970 na área pertencente à Usina Ester, complementado com análise de campo e análises laboratoriais. Para isso foram abertas três trincheiras na área das bacias, além de análise de barrancos. As informações referentes aos tipos de solos foram digitalizadas no AutoCad14 e exportadas para o Idrisi (versão 1.01.006). O estudo de solo proposto consiste em um levantamento semi-detalhado das microbacias. Foram realizadas coletas de amostras em anel de cada tipo de solo encontrado nas microbacias para elaboração das curvas de retenção da umidade no solo utilizando o método de placa porosa de Richard.

## **4.4 - Cartas de uso e ocupação do solo**

Para a obtenção das cartas de uso e ocupação das bacias foram utilizados levantamentos de fotografias aéreas realizadas em 1978, 1988 e 1998 na região. As fotografias foram digitalizadas em “scanner” de mesa e georreferenciadas no programa AutoCad14, a partir de coordenadas geográficas conhecidas, obtidas da carta planialtimétrica (escala 1:10.000). Os polígonos referentes ao uso e ocupação foram traçados diretamente sobre as imagens digitalizadas e os vetores obtidos foram exportados para o programa Idrisi (versão 1.01.006) para obtenção de imagens rasterizadas. A partir dessas cartas foi possível avaliar as alterações ocorridas na região nesses últimos anos em termos de exploração e uso do solo nas microbacias.



#### **4.5 - Esquemas de distribuição espaciais aplicados em hidrologia**

Foram escolhidos três esquemas espaciais para divisão das bacias. Assim, foi realizada a repartição das bacias em rede de malhas regulares, com resoluções de  $5\text{m} \times 5\text{m}$ ,  $10\text{m} \times 10\text{m}$  e  $30\text{m} \times 30\text{m}$ , a partir do modelo numérico de terreno. Também foram utilizados os esquemas de sub-bacias, criadas a partir da análise da rede de drenagem de cada uma das bacias, e de planos vertentes, produzidos pela divisão das sub-bacias nos planos formados pelas encostas direita e esquerda dos cursos d'água.

A Bacia I foi dividida em 4 sub-bacias e a Bacia II, em 5 sub-bacias. A divisão foi feita a partir de uma análise da rede de drenagem de cada uma das bacias. Em seguida, cada sub-bacia foi subdividida em dois planos vertentes, segundo as encostas direita e esquerda dos cursos d'água.

Os esquemas espaciais escolhidos foram comparados tendo como critério a maior concentração dos parâmetros em cada unidade obtida a partir das divisões espaciais.



## **V – RESULTADOS**

A partir das informações referentes às características fisiográficas das bacias em estudo, obtidas de acordo com a metodologia descrita na seção anterior, foram elaboradas diversas cartas digitais que ilustram aquelas características e que podem ser empregadas para determinar a homogeneidade dentro de cada unidade de subdivisão nos esquemas espaciais propostos.

Foram obtidas cartas relativas a relevo, incluindo cartas de altitudes, inclinação e orientação dos terrenos (Apêndice A), cartas de solos (Apêndice B), cartas de uso e ocupação do solo (Apêndice C) e cartas representando os esquemas de partição espacial da área das bacias estudadas (Apêndice D a I). Os quadros constantes do final deste capítulo mostram um resumo dos resultados obtidos, com as porcentagens de ocupação de área de cada característica física estudada nas microbacias (Quadros 3 a 9).

### **5.1 – Relevo**

#### **5.1.1 – Cartas de altitude**

As cartas de altitude foram elaboradas a partir de um mapa em escala 1:10.000. As altitudes na região em que se encontram as bacias estudadas variam entre 505m e 625m aproximadamente. Predominam altitudes entre 555m e 595m em 54,04% da área. Altitudes inferiores a 525m correspondem a 5,66% da área enquanto altitudes superiores a 605m são encontradas em 5,82% da área (Apêndice A - Figura A1).

Na Bacia I, as altitudes variam de 505m a 625m, sendo que 60,49% da área desta bacia apresenta altitudes entre 565m e 610m. Valores superiores a 610m são encontrados em 6,23% da área (Figura 2). A Bacia II apresenta altitudes variando de 520m a 600m. Predominam altitudes superiores a 560m, sendo que 64,84% da área desta bacia apresentam altitudes entre 560m e 600m (Figura 3).

Observou-se que a Bacia I apresenta a mesma amplitude de variação de altitude da área da região em que se encontram as duas bacias, podendo-se notar que esta bacia é mais íngreme em relação à Bacia II, mais plana.

#### **5.1.2 – Cartas de orientação dos terrenos**

Na região, observou-se grande variabilidade de orientações, com os terrenos distribuindo-

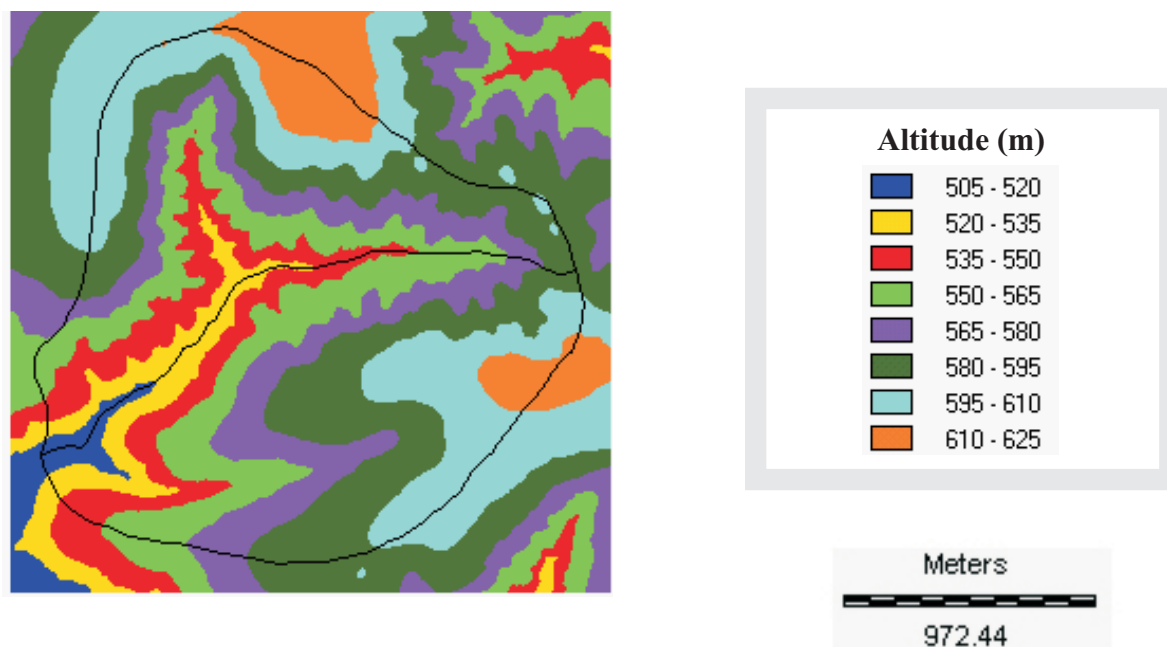
se de maneira uniforme em cada orientação.

A Bacia I apresentou predominantemente orientação Noroeste, em 18,30% dos terrenos. Destacam-se ainda orientações Sul (15,54%) e Oeste (15,77%). Já na Bacia II predomina a orientação Nordeste, com 30,57% dos terrenos voltados a essa direção. Apenas 1,70% dos terrenos está voltado para a direção Noroeste. Destacam-se também as orientações Norte (17,73%) e Leste (14,92%). Observa-se que as duas bacias se apresentam inversamente orientadas, podendo receber, portanto, diferentes quantidades de radiação solar (Figuras 4 e 5).

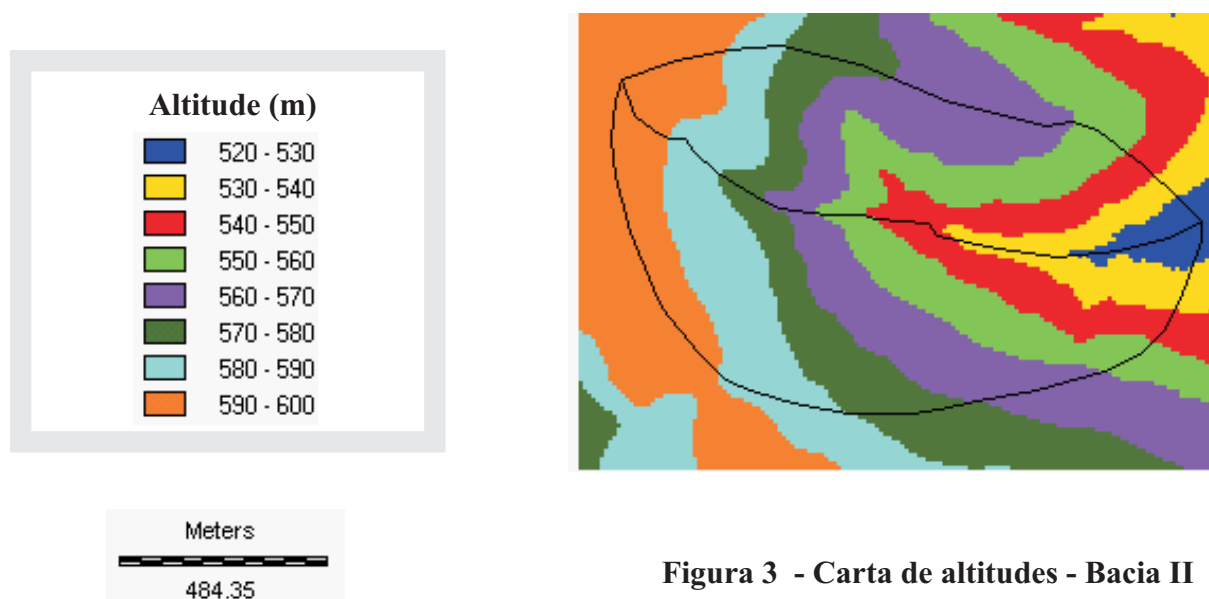
### **5.1.3 – Cartas de inclinação dos terrenos**

Na região em que se encontram as bacias, as inclinações dos terrenos variam entre 0% e 70% de declividade. No entanto, a maior parte das inclinações (82,55%) concentra-se na faixa que vai de 0% a 15% de declividade.

Na Bacia I, a inclinação dos terrenos varia de 0% a 70%, porém 56,58% da área da bacia apresenta inclinações inferiores a 15%, sendo que 44,69% da área tem inclinações entre 5% e 15%. Declividades superiores a 40% representam apenas cerca de 2% da área total da bacia. Em comparação com a região em que se encontra, a Bacia I possui 35,44% dos terrenos com declividades entre 15% e 30%, enquanto a região inteira possui 15,99% de terrenos dentro desta faixa de declividade. Assim, na região, a Bacia I apresenta topografia mais acidentada.



**Figura 2 - Carta de altitudes - Bacia I**



**Figura 3 - Carta de altitudes - Bacia II**



**Quadro 1 - Distribuição de frequências de altitude - Bacia I**

<b>Classes de Altitudes (m)</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
505 – 520	1747	2.24	1747
520 – 535	4084	5.23	5831
535 – 550	7672	9.82	13503
550 – 565	12487	15.99	25990
565 – 580	12817	16.41	38807
580 – 595	20078	25.71	58885
595 – 610	14350	18.37	73235
610 - 625	4865	6.23	78100

**Quadro 2 - Distribuição de frequências de altitude - Bacia II**

<b>Classes de Altitudes (m)</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
520 – 530	381	2.32	381
530 – 540	1206	7.35	1587
540 – 550	1819	11.08	3406
550 – 560	2366	14.41	5772
560 – 570	3108	18.93	8880
570 – 580	2268	13.82	11148
580 – 590	2384	14.52	13532
590 - 600	2884	17.57	16416





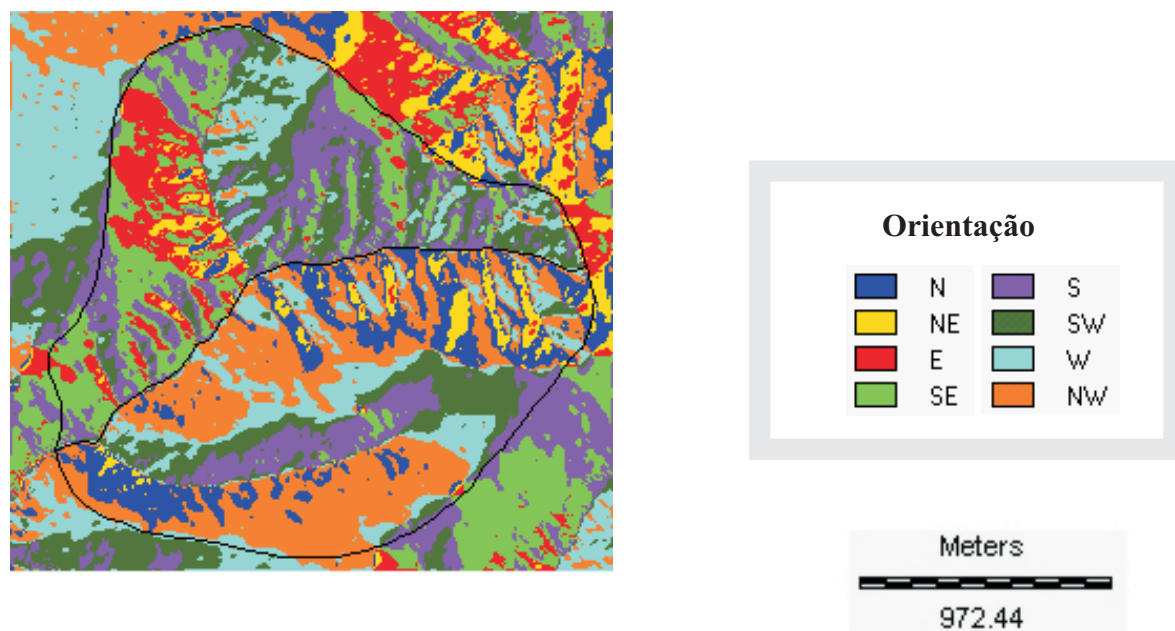


Figura 4 - Carta de orientação dos terrenos - Bacia I

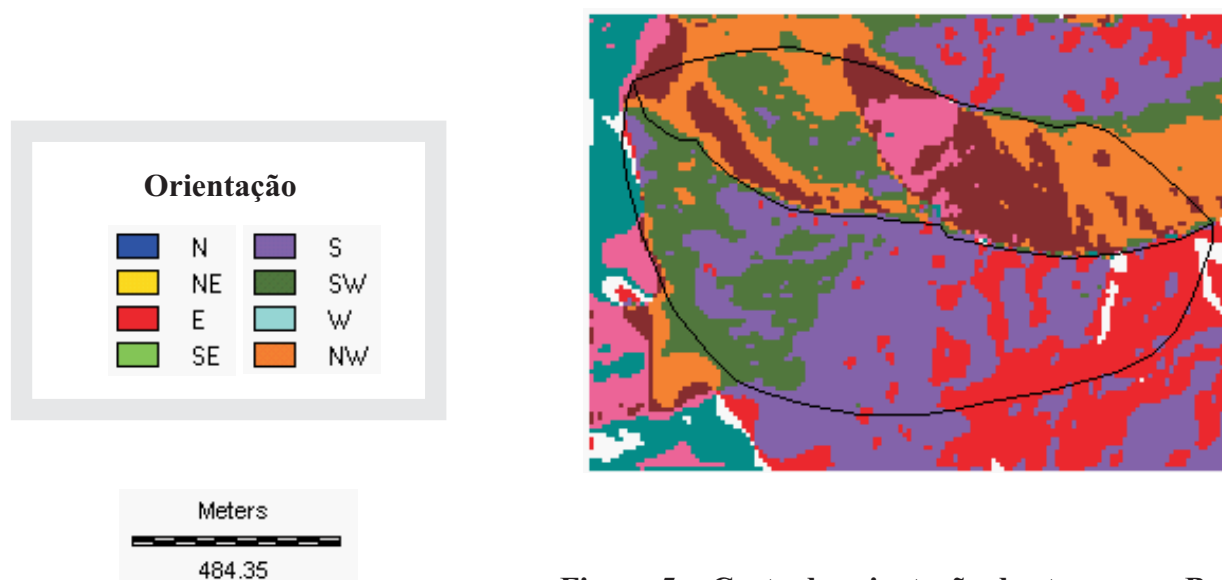
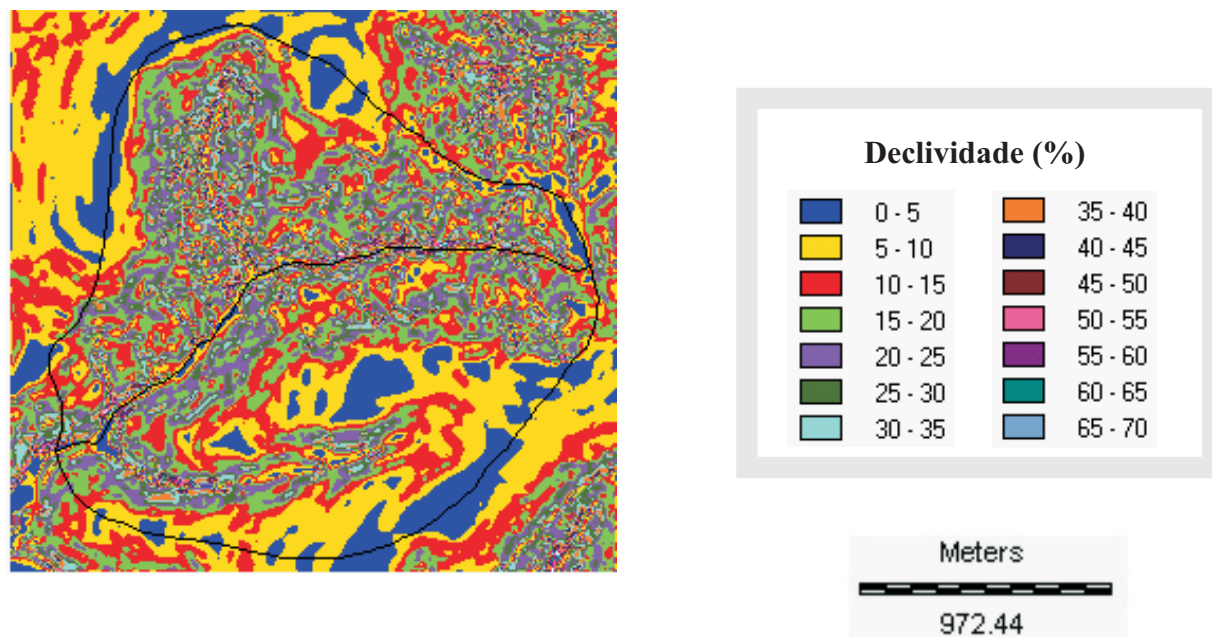
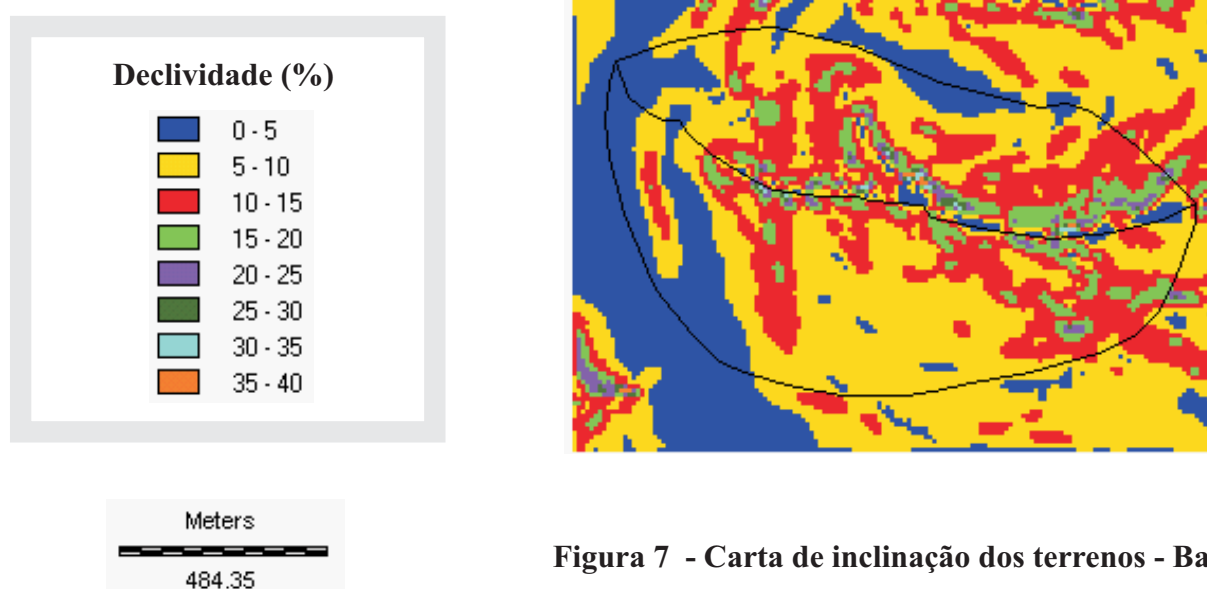


Figura 5 - Carta de orientação dos terrenos - Bacia II





**Figura 6 - Carta de inclinação dos terrenos - Bacia I**



**Figura 7 - Carta de inclinação dos terrenos - Bacia II**



Os terrenos da Bacia II apresentam inclinações variando entre 0% e 40%, havendo um predomínio de inclinações inferiores a 15% (92,49% da área). Inclinações entre 5% e 10% correspondem a 45,51% da área da bacia. Observa-se assim que o relevo da Bacia II é mais suave quando comparado ao da Bacia I. Na região, a Bacia II representa uma bacia de inclinações mais suaves, uma vez que 7,31% da área da bacia possui declividades entre 15% e 30%, enquanto 15,99% dos terrenos da região se encontram na mesma faixa de declividade (Figuras 6 e 7).

## **5.2 – Solos**

Predominam na Bacia I os seguinte solos: Latossolo Vermelho Escuro (LVE), texturas média e argilosa, Podzólico Vermelho Amarelo (PVA), texturas média e argilosa, Hidromórfico e Litossolo.

O solo Hidromórfico cobre uma área que corresponde a 5,47% do total, e encontra-se a jusante da bacia, concentrando-se ao longo do curso d'água principal. À montante da bacia, junto à principal corrente de água, encontra-se o Litossolo, que ocupa uma área equivalente a 19,27% da bacia. A maior parte da bacia é ocupada por solo Podzólico Vermelho Amarelo, com 63,07% da área, sendo que à direita do curso d'água principal esse solo apresenta textura média (35,67%) e à esquerda, textura argilosa (27,40%). As porções de Latossolo Vermelho Escuro encontram-se nos extremos da bacia, junto ao divisor de águas. Assim, observa-se que esse tipo de solo situa-se nas porções mais altas da bacia. O Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa ocupa 12,14% da área da bacia, enquanto o Latossolo Vermelho Escuro textura média cobre apenas 0,05% da bacia (Figura 8).

Com as amostras de solo coletadas na Bacia I foram realizadas análises e obtidas curvas de retenção da umidade no solo para os cinco solos mais característicos presentes na área. Foram também levantadas informações sobre porosidade e densidade do solo (Apêndice B). Os dados mostraram-se consistentes com as características dos solos da bacia. Foram, entretanto, observados valores elevados de densidade para as amostras de superfície do Solo Podzólico Vermelho Amarelo. Observações de campo indicaram que esse solo encontra-se compactado superficialmente, provavelmente em função do manejo empregado no cultivo da cana-de-açúcar, predominante sobre esse tipo de solo.

Considerou-se que a Bacia II, por seu tamanho e pouca variação de solos, é constituída somente por solo Podzólico Vermelho Amarelo textura média. Desta forma, para esta bacia, o

parâmetro solo não terá relevância para a divisão espacial da bacia, por não apresentar variabilidade.

### ***5.3 – Uso e ocupação do solo***

Pelas cartas de uso e ocupação do solo, pode-se determinar a área ocupada pelas culturas da cana-de-açúcar e citros e pela mata ciliar, possibilitando a avaliação da evolução das culturas nas bacias ao longo do tempo. Para a análise foram utilizadas três datas, 1978, 1988 e 1998, cobrindo um período de 20 anos. Duas dessas cartas de uso e ocupação podem ser observadas nas figuras 9 e 10.

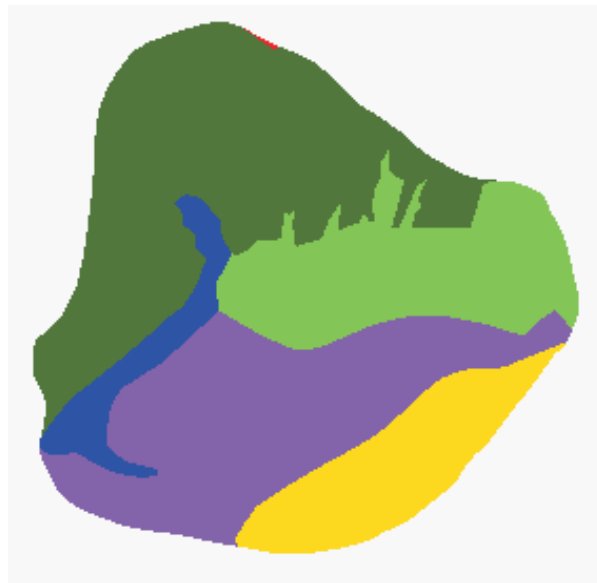
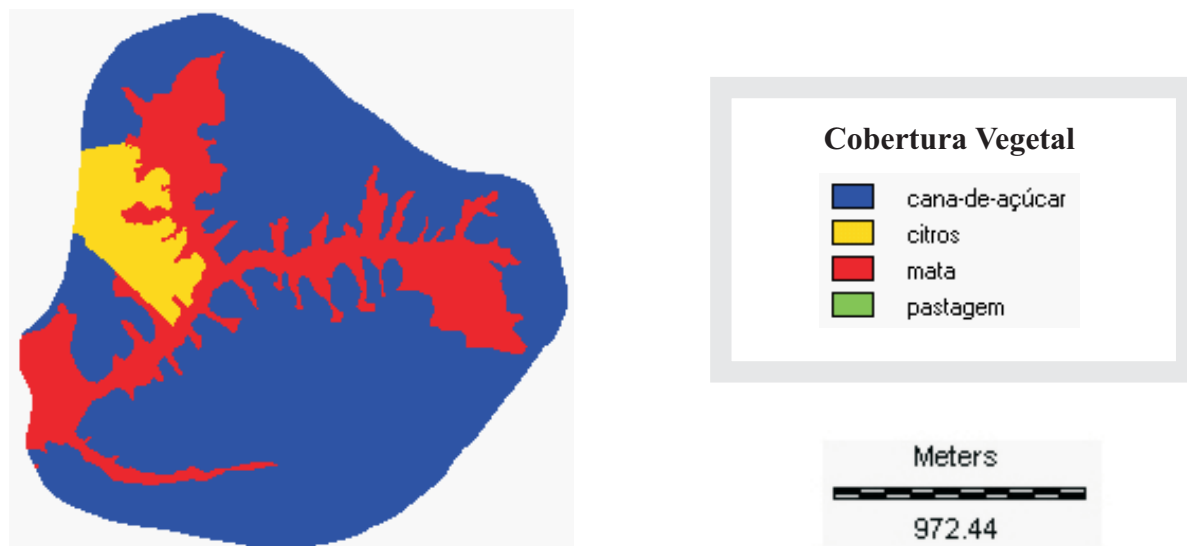


Figura 8 - Carta de solos - Bacia I









**Figura 9 - Carta de uso do solo - Bacia I - 1998**



**Figura 10 - Carta de uso do solo - Bacia II - 1998**



### **5.3.1 – Bacia I**

Em 1978, na Bacia I, que tem área de 4,6km<sup>2</sup>, a cultura da cana-de-açúcar ocupava uma área de 2,89km<sup>2</sup>, a citicultura ocupava 0,37km<sup>2</sup> e a mata ciliar correspondia a 0,81km<sup>2</sup>. Havia ainda 0,53km<sup>2</sup> cobertos por pastagem. Em 1988, a cultura canavieira passou a ocupar 3,16km<sup>2</sup>, a citicultura cobria 0,36km<sup>2</sup> da área da bacia e a mata ciliar aumentou sua área para 1,08km<sup>2</sup>. Em 1998, havia 3,30km<sup>2</sup> da área cobertos por cana-de-açúcar, 0,28km<sup>2</sup> cobertos por citros e 1,02km<sup>2</sup> com cobertura de mata ciliar.

Assim, na Bacia I, em termos percentuais, observa-se que a área ocupada pela cultura da cana-de-açúcar variou de 63% em 1978 a 72% em 1998. A citicultura perdeu área, variando de 8% da área em 1978 a 6% em 1998. Houve um aumento da área ocupada pela mata ciliar, de 18% em 1978 para 22% em 1998, sendo que em 1988 a mata chegou a ocupar 23% da área da bacia. A cultura canavieira passou a predominar nessa bacia, com perda de área para a citicultura e eliminação das áreas de pastagem, e aumento da área ocupada por mata ciliar.

### **5.3.2 – Bacia II**

Em 1978, na Bacia II, com área de 0,9km<sup>2</sup>, a cultura da cana-de-açúcar ocupava 0,41km<sup>2</sup>, a citicultura ocupava área de 0,41km<sup>2</sup> e a mata ciliar cobria 0,08km<sup>2</sup>. Em 1988, a cultura canavieira passou a cobrir 0,36km<sup>2</sup>, a citicultura ocupava 0,48km<sup>2</sup> da área da bacia e a mata ciliar diminuiu sua área para 0,06km<sup>2</sup>. Em 1998, havia 0,35km<sup>2</sup> da área ocupados com cana-de-açúcar, 0,48km<sup>2</sup> cobertos por citros e 0,07km<sup>2</sup> com cobertura de mata ciliar.

Na Bacia II, a área ocupada por citros aumentou ligeiramente, de 46% em 1978 para 53% em 1998. A cultura canavieira teve sua área diminuída de 45% em 1978 para 39% em 1998. Praticamente não houve variação na área ocupada por mata. Assim, nessa bacia, predomina a cultura citrícola.

## **5.4 – Esquemas espaciais**

Foram elaboradas cartas referentes a três tipos de esquemas espaciais, sub-bacias, planos vertentes e malhas regulares. Para a divisão em malhas regulares foram utilizadas resoluções de 30m × 30m, 10m × 10m e 5m × 5m.

#### **5.4.1 – Malhas regulares**

Foram elaborados Modelos Numéricos de Terreno das bacias em três resoluções, 30m × 30m, 10m × 10m e 5m × 5m. Cada resolução gera um grid, ou rede regular de malhas, com um determinado número de células.

Para resolução de 30m × 30m, são obtidas 5.123 células ou pixel para a Bacia I, com área de drenagem de 4,6km<sup>2</sup>, e 1048 células para a Bacia II, com área de drenagem de 0,9km<sup>2</sup>. Com resolução de 10m × 10m, a Bacia I apresenta malha regular constituída por 45.853 células, enquanto a Bacia II apresenta malha de 9.440 células. Para resolução de 5m × 5m, a Bacia I possui 183.198 células e a Bacia II possui 37.772 células. As figuras 17, 18 e 19 mostram cartas de altitudes da Bacia II nas três resoluções. É possível observar que à medida que a resolução aumenta, de 30m × 30m para 5m × 5m, o tamanho das malhas diminui e o contorno dos mapas torna-se mais suave.

Para a elaboração das cartas com a divisão das áreas de acordo com os esquemas espaciais de sub-bacias e planos vertentes, foi escolhida a resolução de 10m × 10m, por permitir maior nível de detalhe em relação à resolução de 30m × 30m.

#### **5.4.2 – Sub-bacia**

A divisão em sub-bacias foi feita a partir de uma análise da rede de drenagem de cada uma das bacias.

A Bacia I foi dividida em quatro sub-bacias, denominadas sub-bacias I-1 a I-4, utilizando-se como critério as áreas de influência dos cursos d'água. A sub-bacia I-1 apresenta área de 0,93km<sup>2</sup>, correspondendo a 20,19% da área total da bacia, e encontra-se à montante do curso d'água principal. A sub-bacia I-2 apresenta área de 1,43km<sup>2</sup>, o que representa 31,17% da área da bacia. A sub-bacia I-3 possui área de 1,29km<sup>2</sup>, ocupando 28,12% da área total. Finalmente, a sub-bacia I-4 apresenta área de 0,94km<sup>2</sup>, o que corresponde a 20,52% do total da bacia (Figura 12).

A Bacia II foi dividida em cinco sub-bacias, do mesmo modo que a Bacia I. A sub-bacia II-1 tem área de 0,05km<sup>2</sup>, o equivalente a 5,65% da área total. A sub-bacia II-2 apresenta área de 0,11km<sup>2</sup>, representando 11,91% da área da bacia. A sub-bacia II-3 possui 0,27km<sup>2</sup> de área, equivalentes a 30,04%. A área da sub-bacia II-4 é de 0,12km<sup>2</sup>, o que corresponde a 13,67% da bacia e a sub-bacia II-5 apresenta área de 0,35km<sup>2</sup>, 38,72% da bacia (Figura 15).

### **5.4.3 – Planos vertentes**

A partir do esquema de sub-bacias, foi realizada a divisão em planos vertentes, pela repartição de cada sub-bacia nas vertentes direita e esquerda dos cursos d'água. Inicialmente, considerou-se cada bacia como uma única sub-bacia, originando dois planos vertentes (Figuras 11 e 14). A seguir, segundo o mesmo critério de considerar as linhas dos cursos d'água, foi efetuada a partição das sub-bacias mencionadas no item 4.4.1 em dois planos vertentes cada, obtendo-se assim oito planos vertentes para a Bacia I e dez planos vertentes para a Bacia II (Figuras 13 e 16).

Na divisão em dois planos vertentes, a vertente direita da Bacia I ocupa 2,13km<sup>2</sup>, o correspondente a 46,33% da área da bacia. A vertente esquerda ocupa 2,47km<sup>2</sup>, 53,67% da área total. Quando se divide essa bacia em oito planos vertentes, a vertente direita da sub-bacia I-1 ocupa área de 0,51km<sup>2</sup> (10,98%) e a vertente esquerda representa 0,42km<sup>2</sup> (9,20%). Na sub-bacia I-2, a vertente direita ocupa 0,70km<sup>2</sup> (15,21%) e a vertente esquerda, 0,73km<sup>2</sup> (15,96%). A vertente direita da sub-bacia I-3 ocupa 0,49km<sup>2</sup> (10,77%) e a vertente esquerda apresenta 0,80km<sup>2</sup> (17,36%). Para a sub-bacia I-4, a vertente direita representa 11,01% da área total, ocupando 0,51km<sup>2</sup>, enquanto a vertente esquerda ocupa 0,44km<sup>2</sup>, ou 9,51% da área da bacia.

Na divisão da Bacia II em dois planos vertentes, observou-se que a vertente direita ocupa 58,34% da área, ocupando 0,53km<sup>2</sup>. A vertente esquerda ocupa área de 0,37km<sup>2</sup>, o que corresponde a 41,66% do total da bacia. Na divisão em dez planos vertentes, a vertente direita da sub-bacia II-1 ocupa área de 0,02km<sup>2</sup> (2,77%) e a vertente esquerda ocupa a mesma área (2,88%). A vertente direita da sub-bacia II-2 apresenta área de 0,04km<sup>2</sup> (3,98%) enquanto a vertente esquerda ocupa área de 0,07km<sup>2</sup> (7,93%). Na sub-bacia II-3, a vertente direita representa 18,84% da área, ou 0,17km<sup>2</sup>. A vertente esquerda dessa sub-bacia ocupa 0,10km<sup>2</sup> (11,21%). A vertente direita da sub-bacia II-4 tem área de 0,09km<sup>2</sup> (10,10%), e a vertente esquerda representa 3,58% da área, ocupando 0,03km<sup>2</sup>. Para a sub-bacia II-5, 0,28km<sup>2</sup> são ocupados pela vertente direita (30,77%) e 0,07km<sup>2</sup> são ocupados pela vertente esquerda (7,94%).



## Esquemas Espaciais

### Sub-bacias e Planos Vertentes



Figura 11 - Bacia I - Dois planos vertentes

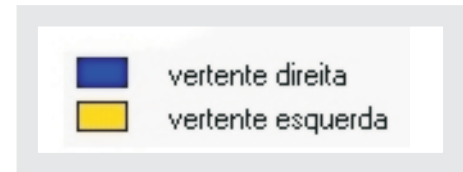


Figura 12 - Bacia I - Quatro sub-bacias

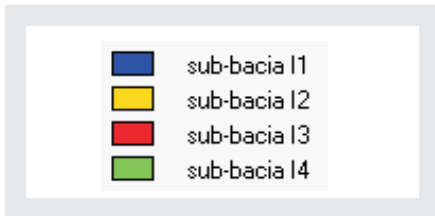
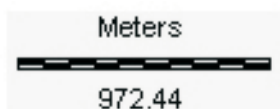
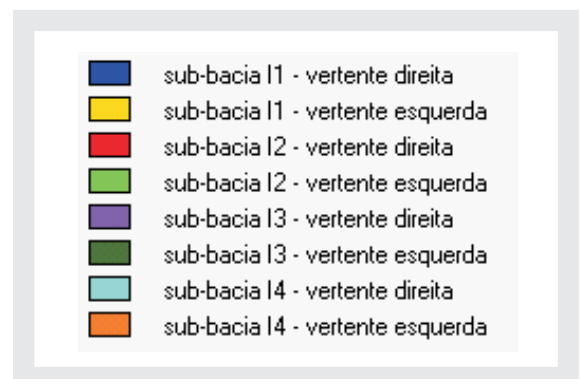
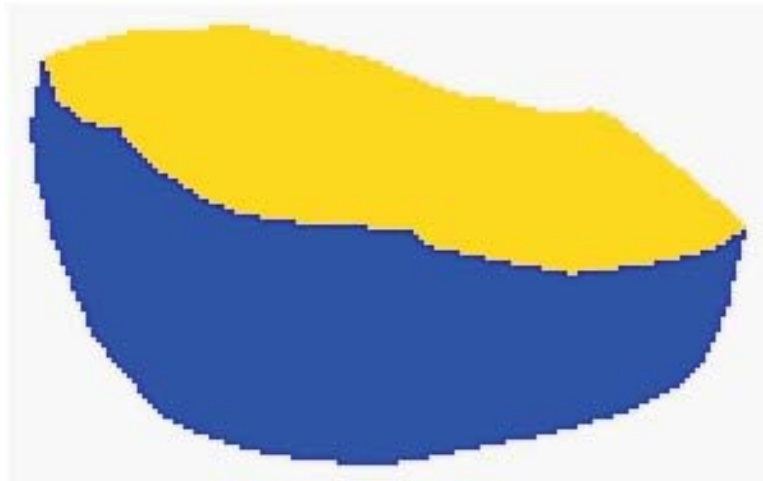


Figura 13 - Bacia I - Oito planos vertentes

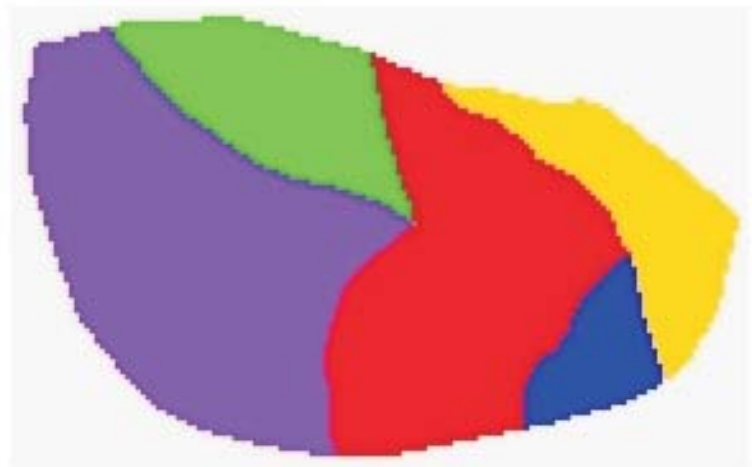
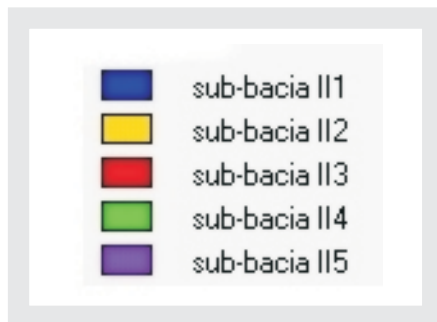




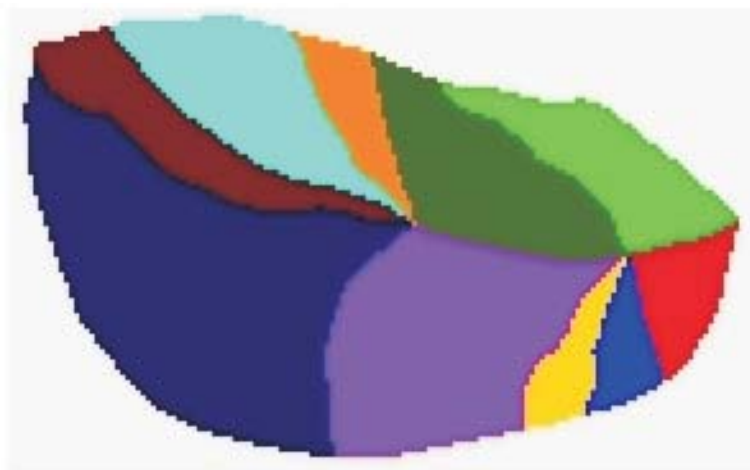




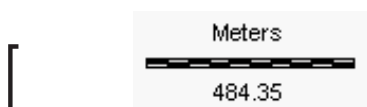
**Figura 14 - Bacia 2 - Dois planos vertentes**



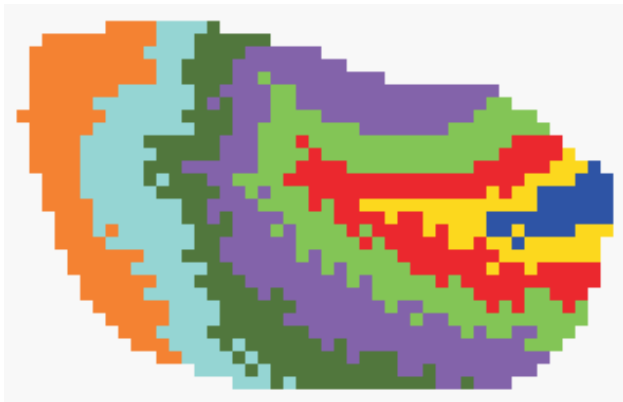
**Figura 15 - Bacia 2 - Cinco sub-bacias**



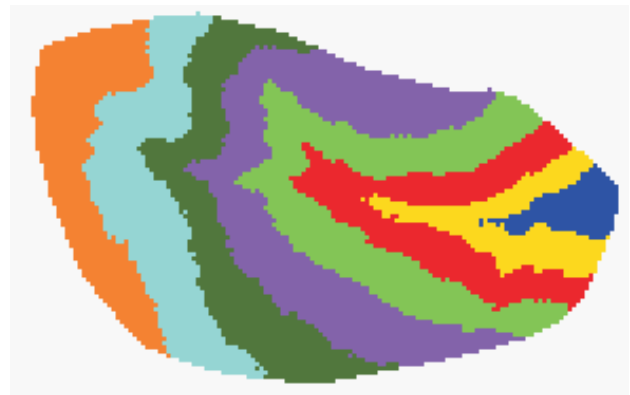
**Figura 16 - Bacia 2 - Dez planos vertentes**



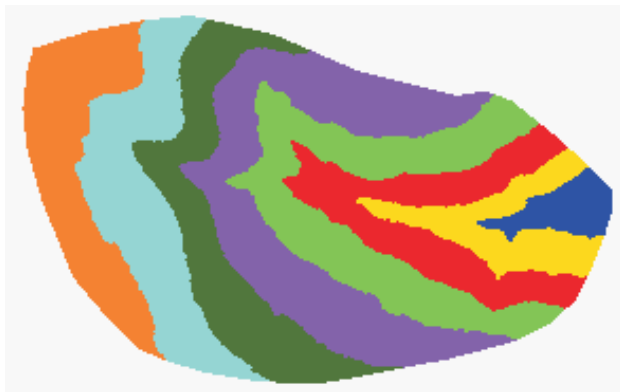




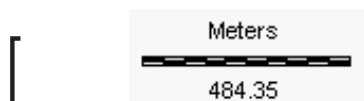
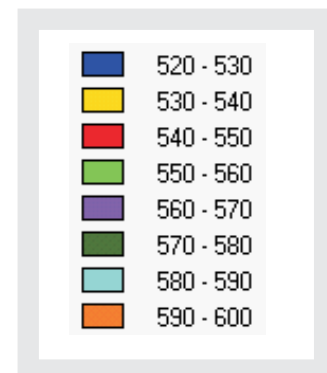
**Figura 17 - Bacia II - Malhas Regulares - 30m x 30m**



**Figura 18 - Bacia II - Malhas Regulares - 10m x 10m**



**Figura 19 - Bacia II - Malhas regulares - 5m x 5m**





## **5.5 – Comparação dos esquemas espaciais com as cartas temáticas – sub-bacias**

Cada esquema espacial foi comparado com as diversas cartas temáticas obtidas para as bacias, para determinar como estão distribuídas as características físicas em cada unidade espacial.

### **5.5.1 – Bacia I**

Serão apresentados os resultados obtidos para cada sub-bacia em relação a relevo, solos e uso e ocupação do solo.

#### **5.5.1.1 – Relevo**

A sub-bacia I-1 apresenta orientação predominantemente oriental, com 21,38% dos terrenos voltados a esta direção. São representativas ainda as orientações Sudeste, Sul, Sudoeste e Oeste. A sub-bacia I-2 tem orientação predominante de Norte e Noroeste (19,48% e 18,42%, respectivamente) e Sul (17,04%). A sub-bacia I-3 apresenta predomínio da orientação Noroeste, com 33,97%. Destacam-se ainda as orientações Sudoeste (20,75%) e Leste (17,40%). Na sub-bacia I-4 também predomina a orientação Noroeste, com 28,18% do total, e a orientação Sudeste (25,50%). Assim, observa-se que a orientação Noroeste predomina em três das sub-bacias, com exceção da sub-bacia I-1 (Apêndice D - Figura D1).

Na sub-bacia I-1, as inclinações são mais predominantes entre 10% e 25% (com 54,72% do total das frequências). O mesmo acontece na sub-bacia I-2, em que 62,57% do total das inclinações concentram-se na faixa de 10% a 25% de declividade. Já na sub-bacia I-3, as inclinações se concentram entre 0% e 15% (72,86% do total), indicando que esta sub-bacia tem relevo mais suave que as duas anteriores. A sub-bacia I-4 tem maior amplitude de inclinação, com 57,08% do total situando-se entre 5% e 25% de declividade, indicando ser esta sub-bacia uma área mais declivosa. Fazendo uma comparação com relação à área total da bacia, pode-se observar que a divisão em sub-bacias faz com que sobressaíam maiores inclinações, que se diluem ao se considerar a bacia como um todo (Figura D2).

#### **5.5.1.2 – Solos**

Na sub-bacia I-1 predomina o solo Podzólico Vermelho Amarelo textura média, ocupando 93,94% da área. A sub-bacia I-2 apresenta 58,08% de solo Litossolo, 28,91% de solo Podzólico Vermelho Amarelo textura média e 12,54% de Podzólico Vermelho Amarelo textura argilosa. Na

sub-bacia I-3 predominam os solos Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa (42,64%) e Podzólico Vermelho Amarelo textura média (53,84%). Na sub-bacia I-4 estão presentes os solos Podzólico Vermelho Amarelo textura argilosa, em 40,74% da área da sub-bacia, Podzólico Vermelho Amarelo textura média, com 37,48% e Hidromórfico, ocupando 16,88% da área da sub-bacia. O Litossolo cobre apenas 4,90% dessa sub-bacia (Apêndice E - Figura E1).

#### **5.5.1.3 – Uso e ocupação**

Para o ano de 1978, a sub-bacia I-1 tinha sua área ocupada por 36,10% de cana-de-açúcar, 27,96% de citros e 35,94% de mata. A sub-bacia I-2 apresentava 56,78% de sua área coberta por cana-de-açúcar, 15,99% por mata e 27,23% por pastagem. A sub-bacia I-3 apresentava 99,10% de sua área coberta por cana-de-açúcar. Na sub-bacia I-4 havia cobertura com cana-de-açúcar em 48,85% da área, com citros em 11,40% da bacia, mata em 25,31% e pastagem em 14,45% da área (Apêndice F - Figura F1).

Em 1988, a sub-bacia I-1 apresentava 34,55% de sua área coberta com cana-de-açúcar, 28,04% com citros e 37,41% com mata ciliar. A sub-bacia I-2 tinha 71,68% da área com cobertura de cana-de-açúcar e 28,32% coberta com mata. Nesse período, observa-se que a área anteriormente ocupada por pastagem passou a ser cultivada com cana-de-açúcar. A sub-bacia I-3 permaneceu com cultivo predominante de cana-de-açúcar, com 97,02% da área; no entanto a mata ganhou um pouco mais de área, chegando a 2,98%. A sub-bacia I-4 apresentava 58,96% de sua área com cana-de-açúcar, 10,82% com citros e 30,22% com mata. Observa-se assim que a cultura da cana-de-açúcar passou a ocupar mais área em relação a 1978, o mesmo acontecendo com a cobertura de mata (Figura F2).

Em 1998, a sub-bacia I-1 apresentava 54,61% de sua área cultivada com cana-de-açúcar, 16,62% com citricultura e 28,77 com mata. A sub-bacia I-2 tinha 70,64% da área coberta com cana-de-açúcar e 29,36% com mata, pouco variando com relação ao ano de 1988. Na sub-bacia I-3 a área coberta por mata ciliar manteve-se ganhando área, passando a ocupar 4,79% da bacia, enquanto a cana-de-açúcar ocupava 95,21% da área. A sub-bacia I-4 tinha 57,84% da área com cana-de-açúcar, 13,21% com citros e 28,95% com mata, com ligeiro aumento da área ocupada por citros e diminuição da cobertura de mata (Figura F3).

### **5.5.2 – Bacia II**

A mesma análise foi realizada para a Bacia II, com relação a relevo e uso e ocupação do solo, uma vez que não foi considerada variação com relação a tipo de solo.

#### **5.5.2.1 – Relevo**

A sub-bacia II-1 apresenta orientação predominantemente Norte, com 68,52% dos terrenos voltados para essa direção. A sub-bacia II-2 tem 49,36% de seus terrenos orientados a Sudeste e 28,24% a Norte. Na sub-bacia II-3 predomina a orientação Nordeste (41,13%), seguida da orientação Sul (26,77%). A sub-bacia II-4 apresenta 46,78% dos terrenos com orientação Leste. Finalmente, na sub-bacia II-5, há o predomínio das orientações Nordeste (39,17%) e Leste (37,86%). Com relação às inclinações, predominam na sub-bacia II-1 inclinações entre 10% e 15% de declividade em 62,35% da área, sendo que 80,68% da sub-bacia possui inclinações entre 5% e 15% de declividade. Na sub-bacia II-2 as inclinações preponderantes situam-se entre 5 e 15% de declividade (72,12% da área da bacia). A sub-bacia II-3 apresenta 81,78% da sua área com inclinações entre 5% e 15% de declividade. Na sub-bacia II-4, inclinações entre 5% e 15% de declividade estão presentes em 80,65% da área. A sub-bacia II-5 mostra inclinações de valores inferiores a 5% chegando até 15% de declividade em 94,19% da área, com 64,11% da sub-bacia com inclinações entre 5% e 15% (Apêndice D - Figuras D3 e D4).

#### **5.5.2.2 – Uso e ocupação**

A sub-bacia II-1, para o ano de 1978, apresentava 85,71% de sua área coberta por citros e 14,29% por mata ciliar. A sub-bacia II-2 apresentava proporções semelhantes, com 84,29% da área com citros e 15,71% com mata. Na sub-bacia II-3 predominava a cultura citrícola, ocupando 87,95% da área da bacia, enquanto a cana-de-açúcar ocupava 3,17% e a mata, 8,88%. A sub-bacia II-4 tinha como cultura dominante a cana-de-açúcar, presente em 85,00% da área, seguida pela mata com 14,26% e citros com apenas 0,74% da área da bacia. A sub-bacia II-5 apresentava-se quase que totalmente coberta por cana-de-açúcar (89,99%), tendo ainda 5,24% da área cultivada por citros e 4,78% com cobertura de mata (Apêndice F - Figura F4).

Em 1988, a sub-bacia II-1 tinha cobertura predominante de citros (93,45%), seguida de mata (6,55%), cuja área diminui em relação ao ano de 1978. A sub-bacia II-2 apresentava 83,73% de sua área com citros e 16,27% com mata. A sub-bacia II-3 mostrava 89,82% de sua área coberta por citros, enquanto a cana-de-açúcar ocupava 2,57% e a mata cobria 7,61% da área,

valores não muito diferentes dos encontrados no outro ano avaliado. Na sub-bacia II-4 a cana-de-açúcar ocupava 39,75% da área, a citricultura ocupava 50,49% e a mata, 9,75%. A sub-bacia II-5 tinha cana-de-açúcar em 90,42% de sua área, citros em 5,67% e mata em 3,91% (Figura F5).

Em 1998, havia na sub-bacia II-1 citros em 92,26% da área, além de mata em 7,74%. Da mesma forma, 86,45% da área da sub-bacia II-2 estava ocupada por citros e 13,55% por mata. A sub-bacia II-3 apresentava área de 2,28% coberta por cana-de-açúcar, 88,55% por citros e 9,18% por mata. A sub-bacia II-4 tinha 36,80 de sua área com cana-de-açúcar, 55,33% com citros e 7,87% com mata. Havia na sub-bacia II-5 cobertura predominante de cana-de-açúcar (88,77%), seguida de citros (5,38%) e mata (5,85%), com diminuição da área ocupada pela cultura canavieira e aumento da área coberta por mata em relação ao ano de 1988 (Figura F6).

## **5.6 – Comparação dos esquemas espaciais com as cartas temáticas – planos vertentes**

### **5.6.1 – Bacia I**

Da mesma forma que para o esquema espacial de sub-bacias, serão apresentadas as comparações das cartas temáticas com o esquema de planos vertentes.

#### **5.6.1.1 – Relevo**

Ao dividir-se a bacia em dois planos vertentes, obteve-se para a vertente direita que as orientações predominantes eram Sudeste e Sul (26,47% e 25,25% do total respectivamente). Para a vertente esquerda, a direção Noroeste é a predominante, com 38,80% do total (Apêndice G - Figura G1).

Na divisão em oito planos vertentes, observa-se que na vertente direita da sub-bacia I-1 predominam as orientações Leste e Sudeste (39,28% e 31,83% respectivamente). Na vertente esquerda da mesma sub-bacia, predominam as orientações Sudoeste (40,36%) e Oeste (37,01%). Na vertente direita da sub-bacia I-2, o predomínio é da orientação Sul (34,81%), seguida pelas orientações Sudoeste (26,72%) e Sudeste (23,29%). Sua vertente esquerda é principalmente orientada a Norte (36,78%) e Noroeste (34,36%). A vertente direita da sub-bacia I-3 tem como orientações predominantes Sudoeste (41,81%) e Sul (36,36%). Contrariamente, na vertente esquerda dessa sub-bacia predominam as orientações Noroeste (52,94%) e Norte (19,85%). A vertente direita da sub-bacia II-4 tem predomínio das orientações Sudeste, com 47,34%, e Sul,



com 28,31% do total de frequências. Já a vertente esquerda apresenta-se principalmente orientada a Noroeste (60,48%) e Sudoeste (30,94%) (Figura G3).

Com relação a inclinações, a divisão da bacia em dois planos vertentes gerou para a vertente direita 58,13% da declividade situando-se entre 10% e 25%. Na vertente esquerda, 62,16% da área tem declividades variando entre 5% e 20% (Figura G2).

Na divisão da bacia em oito planos vertentes, observou-se que a vertente direita da sub-bacia I-1 tem 54,01% das inclinações situadas entre 10% e 25%. A vertente esquerda tem igualmente inclinações entre 10% e 25% (55,57%). A vertente direita da sub-bacia I-2 tem 59,76% das inclinações entre 10% e 25% de declividade. O mesmo acontece para a vertente esquerda, que apresenta 65,24% das inclinações variando entre os mesmos valores de declividade. A vertente direita da sub-bacia I-3 tem 67,88% das inclinações situadas na faixa entre 0% e 20% de declividade. A vertente esquerda apresenta 75,95% da sua área com inclinações variando entre 0% e 15% de declividade, sendo 37,96% na faixa de 5% a 10% de declividade. Na vertente direita da sub-bacia I-4 encontram-se 62,07% das inclinações na faixa entre 10% e 25% de declividade. A vertente esquerda dessa sub-bacia apresenta 77,71% das inclinações variando de 5% a 25% de declividade (Figura G4).

#### **5.6.1.2 – Solos**

Na divisão da Bacia I em dois planos vertentes, a vertente direita apresenta 8,86% de solo Hidromórfico, 13,88% de Litossolo e 76,98% de Podzólico Vermelho Amarelo textura média. Já a vertente esquerda é coberta por 50,88% de solo Podzólico Vermelho Amarelo textura argilosa, 23,94% de Litossolo, 22,63% de Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa e 2,55% de solo Hidromórfico (Apêndice H - Figura H1).

Com a divisão em oito planos vertentes, a vertente direita da sub-bacia I-1 tem o solo Podzólico Vermelho Amarelo textura média como predominante, com 92,24% da área, seguido pelo solo Hidromórfico, com 7,45%. Na vertente esquerda também predomina o solo Podzólico Vermelho Amarelo textura média (95,97%). A vertente direita da sub-bacia I-2 tem 40,74% de sua área com Litossolo e 59,26% com solo Podzólico Vermelho Amarelo textura média. A vertente esquerda apresenta 74,60% da área com Litossolo e 24,48% com Podzólico Vermelho Amarelo textura argilosa. Na vertente direita da sub-bacia I-3 predomina o solo Podzólico Vermelho Amarelo textura argilosa, ocupando 84,63% da área e Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa, ocupando 10,95%. A vertente esquerda dessa sub-bacia possui cobertura de

62,31% de solo Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa e 34,72% de solo Podzólico Vermelho Amarelo textura argilosa. Na vertente direita da sub-bacia I-4 há predomínio de solo Podzólico Vermelho Amarelo textura média (69,86%), seguido de solo Hidromórfico (28,18%). A vertente esquerda possui 87,02% de solo Podzólico Vermelho Amarelo textura argilosa e 9,17% de Litossolo (Figura H2).

#### **5.6.1.3 – Uso e ocupação do solo**

Para dois planos vertentes, obteve-se que em 1978 a vertente direita da Bacia I estava coberta por cana-de-açúcar (51,6%), citros (17,3%) e mata (31,1%). A vertente esquerda apresentava 72,6% de sua área com cana-de-açúcar, 6,1% com mata e 21,3% com pastagem (Apêndice I - Figura I1).

Considerando oito vertentes, no mesmo ano, havia na vertente direita da sub-bacia I-1 51,4% de citros, 47,2% de mata e 1,4% de cana-de-açúcar. Na vertente esquerda havia 77,5% de cana-de-açúcar e 22,5% de mata. A vertente direita da sub-bacia I-2 estava coberta por cana-de-açúcar (81,6%) e mata (18,4%), enquanto sua vertente esquerda apresentava 33,1% da área com cana-de-açúcar, 13,7% com mata e 53,2% com pastagem. A sub-bacia I-3 tinha praticamente toda sua vertente direita coberta por cana-de-açúcar (98,7%), do mesmo modo que sua vertente esquerda (99,8%). A vertente direita da sub-bacia I-4 estava coberta por cana-de-açúcar (38,5%), citros (21,2%) e mata (40,3%). A vertente esquerda apresentava cana-de-açúcar (60,9%), mata (7,9%) e pastagem (31,2%) (Figura I4).

Para o ano de 1988, na divisão em dois planos vertentes, a vertente direita apresentava 47,5% de sua área coberta por cana-de-açúcar, 17,0% por citros e 35,5% por mata. A vertente esquerda mostrava-se coberta por cana-de-açúcar (87,0%) e mata (13,0%) (Figura I2).

Na vertente direita da sub-bacia I-1 predominava a citricultura (51,6%) seguida de mata (46,7%) e cana-de-açúcar (1,7%). A vertente esquerda apresentava 73,7% de cobertura por cana-de-açúcar e 26,3% por mata. A vertente direita da sub-bacia I-2 tinha 74,3% de sua área cultivada com cana-de-açúcar e 25,7% coberta por mata. Na vertente esquerda havia 69,2% de cana-de-açúcar e 30,8% de mata. A vertente direita da sub-bacia I-3 tinha em 95,2% de sua área cana-de-açúcar e em 4,8%, mata. Na vertente esquerda havia 98,2% de cana-de-açúcar e 1,8% de mata. A vertente direita da sub-bacia I-4 apresentava 34,5% de sua área com cana-de-açúcar, 20,2% com citros e 45,3% com mata. A vertente esquerda tinha 87,3% da área com cana-de-açúcar e 12,7% com mata (Figura I5).

Em 1998, a vertente direita da Bacia I apresentava cana-de-açúcar (60,5%), citros (13,1%) e mata (26,4%). A vertente esquerda tinha 81,3% de sua área com cana-de-açúcar e 18,7% com mata (Figura I3).

A vertente direita da sub-bacia I-1 mostrava-se coberta por cana-de-açúcar (38,5%), citros (30,5%) e mata (31,0%). Na vertente esquerda havia cana-de-açúcar em 73,8% da área e mata nos outros 26,2%. A vertente direita da sub-bacia I-2 estava coberta por cana-de-açúcar (87,5%) e mata (12,5%). A vertente esquerda apresentava também cana-de-açúcar (54,6%) e mata (45,4%). Na vertente direita da sub-bacia I-3 podia-se observar a predominância da cana-de-açúcar, ocupando 96,0% da área, enquanto 4,0% era ocupada por mata. Da mesma forma, 94,7% da área estava coberta por cana-de-açúcar e 5,3% por mata. Na vertente direita da sub-bacia I-4 havia 34,4% da área com cana-de-açúcar, 24,6% com citros e 41,0% com mata. A vertente esquerda apresentava cana-de-açúcar em 85,0% da área e mata nos restantes 15,0% (Figura I6).

### **5.6.2 – Bacia II**

Foram realizadas comparações das cartas temáticas da Bacia II com o esquema espacial de planos vertentes.

#### **5.6.2.1 – Relevô**

Na divisão da Bacia II em dois planos vertentes, predomina na vertente direita a orientação Nordeste, em 49,41% dos terrenos, seguida das orientações Norte (23,84%) e Leste (23,43%). Na vertente esquerda há predomínio das orientações Sul (34,13%) e Sudeste (33,94%), enquanto a orientação Leste está presente em 19,85% dos terrenos. Para as inclinações, predominam na vertente direita inclinações entre 5% e 15% de declividade (76,61% da área da vertente). A mesma faixa predomina também na vertente esquerda, em 70,27% da área (Apêndice G - Figuras G5 e G6).

Quando a bacia é dividida em dez planos vertentes, predomina na vertente direita da sub-bacia II-1 a orientação Norte (81,30%). Na vertente esquerda destacam-se as orientações Norte (56,25%) e Nordeste (41,41%). Na sub-bacia II-2, 83,61% da área da vertente direita apresenta orientação Norte, enquanto na vertente esquerda predomina a orientação Sudeste (74,18%). Na vertente direita da sub-bacia II-3 65,63% da área mostra orientação Nordeste, seguida da orientação Norte com 33,17%. A vertente esquerda dessa sub-bacia possui 71,30% da sua área com orientação Sudeste. A vertente direita da sub-bacia II-4 apresenta-se orientado

predominantemente na direção Leste (63,66%), seguida pela direção Sudeste (29,76%). A vertente esquerda apresenta orientação Sudoeste (51,73%) e Sul (42,49%). Na vertente direita da sub-bacia II-5 predominam as orientações Nordeste (48,96%) e Leste (44,62%). Na vertente esquerda dessa sub-bacia predominam as orientações Sudeste e Sul, em 46,36% e 41,23% dos terrenos respectivamente (Figura G7).

Com relação à inclinação dos terrenos, a vertente direita da sub-bacia II-1 apresenta 69,51% da área com inclinações variando entre 10% e 15% de declividade. Na vertente esquerda ocorre a mesma faixa de variação de declividade em 55,47% da área, sendo que, se for considerada a faixa entre 5% e 15%, a área passa a 80,47%. Na vertente direita da sub-bacia II-2 83,61% da área apresenta inclinações entre 5% e 15% de declividade. O mesmo é observado na vertente esquerda, em 66,35% da sub-bacia. Na vertente direita da sub-bacia II-3, 89,50% da área encontra-se na faixa de inclinação entre 5% e 15% de declividade, sendo que 67,49% da área da sub-bacia situa-se entre 5% e 10% de declividade. A vertente esquerda dessa sub-bacia mostra 68,90% de sua área com inclinações entre 5% e 15% de declividade. Na vertente direita da sub-bacia II-4, 83,21% do total encontram-se com inclinações entre 5% e 15% de declividade. Na vertente esquerda esses valores são de 73,70%. Na vertente direita da sub-bacia II-5 a faixa de inclinação predominante situa-se entre 0% e 10% de declividade (74,04%), sendo que na vertente esquerda a mesma faixa de inclinação está representada em 66,05% da área (Figura G8).

#### **5.6.2.2 – Uso e ocupação do solo**

Em 1978, na divisão em dois planos vertentes, a vertente direita apresentava cobertura por cana-de-açúcar (49,1%), citros (46,4%) e mata (4,5%). A vertente esquerda estava coberta por cana-de-açúcar (45,0%), citros (39,2%) e mata (15,8%) (Apêndice I - Figura I7).

Para a divisão em dez planos vertentes, a vertente direita da sub-bacia II-1 mostrava cobertura por citros (88,3%) e mata (11,7%). A vertente esquerda igualmente apresentava-se coberta por citros (83,3%) e por mata (16,7%). A vertente direita da sub-bacia II-2 apresentava 86,5% de sua área com cana-de-açúcar e 13,5% com mata. Na vertente esquerda havia também cana-de-açúcar (83,2%) e mata (16,8%). A vertente direita da sub-bacia II-3 mostrava cobertura de cana-de-açúcar (4,8%), citros (89,2%) e mata (6,0%). O mesmo acontecia na vertente esquerda, porém com 0,5% de cana-de-açúcar, 85,9% de citros e 13,6% de mata. A vertente direita da sub-bacia II-4 estava coberta por cana-de-açúcar (90,3%) e mata (9,7%). Sua vertente esquerda mostrava cobertura de cana-de-açúcar (69,9%), citros (2,8%) e mata (27,3%). A

vertente direita da sub-bacia II-5 apresentava-se coberta por cana-de-açúcar (90,7%), citros (6,6%) e mata (2,7%). Na vertente esquerda havia 87,0% da área com cana-de-açúcar e 13,0% com mata (Figura I10).

Em 1988, para a divisão em dois planos vertentes, a vertente direita estava coberta por cana-de-açúcar (49,1%), citros (47,5%) e mata (3,4%). Na vertente esquerda havia cana-de-açúcar em 30,1%, citros em 56,7% e mata em 13,2% da área (Figura I8).

Para divisão em dez planos vertentes, havia na vertente direita da sub-bacia II-1 citros em 94,3% e mata em 5,7% da área. Na vertente esquerda havia também citros (92,6%) e mata (7,4%). A vertente direita da sub-bacia II-2 apresentava 82,3% da área com citros e 17,7% com mata. A vertente esquerda estava coberta por citros (84,5%) e mata (15,5%). A vertente direita da sub-bacia II-3 apresentava citros em 90,6% da área, além de cana-de-açúcar (4,1%) e mata (5,3%). Na vertente esquerda havia citros (88,5%) e mata (11,5%). A vertente direita da sub-bacia II-4 mostrava cobertura de cana-de-açúcar (53,8%), citros (38,4%) e mata (7,8%). Sua vertente esquerda apresentava cobertura por citros (84,6%) e mata (15,4%). Na vertente direita da sub-bacia II-5 predominava a cana-de-açúcar (91,1% da área) seguida de citros (6,9%) e mata (2,0%). A vertente esquerda apresentava também cana-de-açúcar (87,7%), citros (1,0%) e mata (11,3%) (Figura I11).

Em 1998, na divisão em dois planos vertentes, a vertente direita apresentava cobertura por cana-de-açúcar (48,4% da área), citros (46,4%) e mata (5,2%). A vertente esquerda estava coberta por cana-de-açúcar (28,3%), citros (59,3%) e mata (12,4%) (Figura I9).

Na divisão em dez planos vertentes, a vertente direita da sub-bacia II-1 tinha cobertura predominante de citros (92,3%) seguida de mata (7,7%). A vertente esquerda também apresentava citros (92,2%) e mata (7,8%). A vertente direita da sub-bacia II-2 estava coberta por citros (82,5%) e mata (17,5%). A vertente esquerda igualmente mostrava cobertura de citros (88,4%) e mata (11,6%). A vertente direita da sub-bacia II-3 mostrava predomínio de citros (88,5% da área), seguido de mata (7,9%) e cana-de-açúcar (3,6%). A vertente esquerda mostrava cobertura por citros (88,6%) e mata (11,4%). A vertente direita da sub-bacia II-4 apresentava cana-de-açúcar (49,8% da área), citros (44,3%) e mata (5,9%). A vertente esquerda apresentava citros (86,5%) e mata (13,5%). A vertente direita da sub-bacia II-5 apresentava cana-de-açúcar em 90,17% de sua área, além de citros em 6,26% e mata em 3,57% da área. Na vertente esquerda havia 83,4% da área com cana-de-açúcar, 1,9% com citros e 14,7% com mata (Figura I12).



**Quadro 3**  
**Relevo – Inclinação - Ocupação percentual da área – Bacia I - continuação**

INCLINAÇÃO DOS TERRENOS (%)																
			0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70
Divisão por tipo de solo	LVE textura argilosa	I-1D														
		I-1E														
		I-2D														
		I-2E	13.43	14.93	19.40	13.43	10.45	10.45	5.97	4.48	2.99	1.49	2.98	-	-	-
		I-3D	12.57	60.81	24.95	1.29	0.19	0.19	-	-	-	-	-	-	-	-
		I-3E	30.46	48.56	15.03	2.84	1.53	0.76	0.44	0.18	0.08	0.02	0.06	0.02	0.02	-
		I-4D														
		I-4E														
Divisão por tipo de solo	LVE textura média	I-1D														
		I-1E	26.09	43.47	30.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		I-2D														
		I-2E														
		I-3D														
		I-3E														
		I-4D														
		I-4E														
	Litossolo	I-1D	6.25	37.5	31.25	12.50	6.25	6.25	-	-	-	-	-	-	-	-
		I-1E	7.02	21.05	12.28	12.28	10.52	10.52	5.26	8.77	7.02	3.51	1.75	-	-	
		I-2D	7.85	9.82	13.83	17.88	18.20	11.37	7.99	5.42	2.36	2.36	1.69	0.60	0.21	0.21
		I-2E	47.55	-	52.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		I-3D														
		I-3E														
		I-4D	9.83	31.15	19.67	8.19	4.92	8.19	3.28	4.92	3.28	3.28	3.28	-	-	-
I-4E	2.00	7.00	15.50	25.00	26.25	14.50	5.25	2.00	1.00	0.25	1.25	-	-	-		

**Quadro 3**  
**Relevo – Inclinação - Ocupação percentual da área – Bacia I - continuação**

[illegible]



**Quadro 4**  
**Relevo – Orientação - Ocupação percentual da área – Bacia I**

			ORIENTAÇÃO DOS TERRENOS							
			N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Bacia I	Bacia		9.23	5.57	8.23	14.22	15.54	13.15	15.77	18.30
	2 pl vert.	D	1.10	2.80	14.16	26.47	25.25	18.43	10.30	1.49
		E	18.97	4.49	0.37	0.84	9.18	11.56	15.79	38.80
	4 Sub- bacias	I-1	1.40	4.84	21.38	17.40	16.30	19.11	17.38	2.17
		I-2	19.48	7.42	2.05	11.38	17.04	13.84	10.38	18.42
		I-3	12.94	0.82	0.19	1.48	17.40	20.75	12.46	33.97
		I-4	3.38	0.89	8.53	25.50	15.25	3.54	14.72	28.18
	8 planos verten- tes	I-1D	2.54	8.88	39.28	31.83	15.03	1.31	0.93	0.20
		I-1E	0.05	0.02	0.02	0.19	17.82	40.36	37.01	4.53
		I-2D	1.32	1.00	3.33	23.29	34.81	26.72	7.86	1.68
		I-2E	36.78	13.54	0.83	0.03	0.11	1.57	12.77	34.36
		I-3D	1.80	0.36	0.20	3.08	36.36	41.81	12.96	3.42
		I-3E	19.85	1.11	0.19	0.49	5.62	7.67	12.14	52.94
		I-4D	0.46	1.57	15.79	47.34	28.31	5.55	0.71	0.28
		I-4E	6.77	0.11	0.11	0.23	0.14	1.22	30.94	60.48
Divisão por tipo de solo	Solo Hidromórfico	I-1D	8.80	31.20	39.20	14.90	2.40	0.53	2.40	0.53
		I-1E	-	-	-	-	13.33	60.00	26.67	-
		I-2D								
		I-2E								
		I-3D	5.96	3.22	-	-	6.88	60.09	21.56	2.29
		I-3E	53.39	19.07	-	-	-	-	-	65.00
		I-4D	0.63	1.19	14.48	48.38	28.90	4.71	1.26	0.42
		I-4E	5.42	0.60	1.20	0.60	0.60	7.83	47.59	36.14

**Quadro 4**  
**Relevo – Orientação - Ocupação percentual da área – Bacia I - continuação**

			ORIENTAÇÃO DOS TERRENOS							
			N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Divisão por tipo de solo	LVE textura argilosa	I-1D								
		I-1E								
		I-2D								
		I-2E	55.22	7.46	-	-	-	-	7.46	29.86
		I-3D	0.94	-	-	-	9.80	83.36	2.76	3.14
		I-3E	4.88	0.16	0.30	0.79	9.02	12.30	15.92	56.63
		I-4D								
		I-4E								
	LVE textura média	I-1D	-	12.50	31.25	31.25	12.50	6.25	6.25	-
		I-1E	4.35	-	-	-	4.35	21.74	47.83	21.74
		I-2D								
		I-2E								
		I-3D								
		I-3E								
		I-4D								
		I-4E								
	Litossolo	I-1D								
		I-1E	-	-	-	1.75	40.35	52.63	5.26	-
		I-2D	1.34	0.99	3.70	21.22	29.67	28.19	11.58	3.31
		I-2E	35.77	14.43	1.12	0.04	0.14	1.88	13.89	32.73
		I-3D								
		I-3E								
		I-4D	8.19	6.56	13.11	34.42	11.47	3.28	11.47	11.47
		I-4E	11.25	0.50	-	-	-	3.75	44.75	39.75

**Quadro 4**  
**Relevo – Orientação - Ocupação percentual da área – Bacia I - continuação**

			ORIENTAÇÃO DOS TERRENOS							
			N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Divisão por tipo de solo	PVA textura argilosa	I-1D								
		I-1E								
		I-2D	1.70	0.26	0.24	3.64	41.34	35.48	13.83	3.51
		I-2E	39.17	11.05	-	-	-	0.67	9.60	39.51
		I-3D								
		I-3E	43.85	1.26	-	-	-	-	6.41	48.48
		I-4D	2.63	-	2.63	42.10	42.10	5.26	5.26	-
		I-4E	6.35	0.05	0.08	0.24	0.13	0.66	28.75	63.73
	PVA textura média	I-1D	2.04	7.06	39.31	33.19	16.06	1.35	0.79	0.17
		I-1E	0.02	0.02	0.02	0.17	17.68	39.85	37.63	4.59
		I-2D	1.31	1.02	3.07	24.71	38.33	25.70	5.30	0.56
		I-2E								
		I-3D								
		I-3E								
		I-4D	0.22	1.64	16.50	47.19	28.22	5.93	0.25	0.03
		I-4E								

**Quadro 3**  
**Relevo – Inclinação - Ocupação percentual da área – Bacia I**

			INCLINAÇÃO DOS TERRENOS (%)													
			0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70
Bacia I	Bacia		11.89	24.10	20.59	16.45	12.13	6.86	3.61	2.30	0.89	0.50	0.40	0.17	0.09	0.04
	2 pl vert.	D	6.28	12.35	18.77	21.49	17.87	10.53	5.54	3.76	1.54	0.83	0.62	0.21	0.10	0.05
		E	13.78	25.14	20.56	16.46	12.41	5.94	2.97	1.53	0.54	0.35	0.20	0.09	0.02	0.01
	4 Sub- bacias	I-1	7.51	11.25	15.97	20.70	18.05	11.74	6.49	4.51	1.89	0.76	0.66	0.23	0.16	0.09
		I-2	5.22	13.04	21.71	22.79	18.07	9.28	4.65	2.59	1.06	0.85	0.49	0.13	0.04	0.08
		I-3	20.23	34.53	18.10	11.02	7.99	3.72	2.23	1.31	0.37	0.21	0.14	0.09	0.04	0.02
		I-4	5.42	11.63	16.95	16.05	12.45	6.38	2.83	2.33	0.91	0.46	0.33	0.15	0.02	0.02
	8 planos verten- tes	I-1D	8.06	11.44	14.65	21.19	18.17	11.56	6.47	4.71	1.87	0.71	0.60	0.26	0.20	0.12
		I-1E	6.85	11.02	17.54	20.12	17.91	11.97	6.52	4.27	1.92	0.81	0.73	0.19	0.12	0.05
		I-2D	6.44	13.45	19.30	21.96	18.50	9.36	4.85	2.72	1.16	1.03	0.73	0.24	0.09	0.09
		I-2E	4.06	12.65	24.01	23.58	17.65	9.20	4.45	2.46	0.96	0.68	0.27	0.03	-	-
		I-3D	19.01	28.99	19.88	12.94	8.89	4.60	2.83	1.42	0.63	0.28	0.22	0.18	0.08	0.04
		I-3E	20.99	37.96	17.00	9.83	7.43	3.18	1.85	1.24	0.21	0.16	0.09	0.04	0.01	-
		I-4D	3.98	12.90	23.20	22.27	16.60	9.83	4.72	3.80	1.41	0.69	0.42	0.12	-	-
		I-4E	11.01	18.58	22.00	20.48	16.65	7.02	2.68	0.62	0.34	0.18	0.23	0.18	0.02	-
Divisão por tipo de solo	Solo Hidromórfico	I-1D	6.13	7.47	9.86	12.53	20.26	16.00	16.00	6.40	2.93	0.27	1.06	0.27	0.53	-
		I-1E	1.11	7.78	8.88	14.44	10.00	14.44	5.55	14.44	5.55	5.55	4.44	4.44	2.22	1.11
		I-2D														
		I-2E														
		I-3D	17.43	5.96	7.34	5.04	17.43	13.76	16.06	5.96	5.06	1.83	0.46	1.83	1.38	0.46
		I-3E	5.51	13.98	14.83	21.19	15.25	9.32	9.32	7.63	0.42	1.69	0.43	0.43	-	-
		I-4D	5.48	6.96	15.05	18.14	16.73	12.79	8.58	8.51	4.00	1.89	1.19	0.42	-	0.07
		I-4E	34.94	13.25	7.23	3.61	7.23	3.01	4.82	2.41	3.01	4.82	0.60	-	-	-

Obs.: As lacunas em planos vertentes na divisão por tipo de solo indicam que aquele solo não estava representado no respectivo plano vertente

**Quadro 5**  
**Solos – Ocupação percentual da área – Bacia I**

			SOLOS					
			Hidromórfico	LVE a	LVE m	Litossolo	PVA a	PVA m
Bacia I	Bacia		5.47	12.14	0.05	19.27	27.40	35.67
	2 pl vert.	D	8.86	-	0.11	13.88	0.17	76.98
		E	2.55	22.63	-	23.94	50.88	-
	4 Sub- bacias	I-1	5.02	-	0.25	0.79	-	93.94
		I-2	-	0.47	-	58.08	12.54	28.91
		I-3	3.52	42.64	-	-	53.84	-
		I-4	16.88	-	-	4.90	40.74	37.48
	8 planos verten- tes	I-1D	7.45	-	-	0.32	-	92.24
		I-1E	2.13	-	0.55	1.35	-	95.97
		I-2D	-	-	-	40.74	-	59.26
		I-2E	-	0.92	-	74.60	24.48	-
		I-3D	4.41	10.95	-	-	84.63	-
		I-3E	2.97	62.31	-	-	34.72	-
		I-4D	28.18	-	-	1.21	0.75	69.86
		I-4E	3.81	-	-	9.17	87.02	-

**Quadro 6**  
**Cobertura Vegetal – Ocupação percentual da área – Bacia I**

			COBERTURA VEGETAL (1998)		
			Cana-de-açúcar	Citrus	Mata
Bacia I	Bacia		71.69	6.07	22.24
	2 pl vert.	D	60.55	13.10	26.35
		E	81.29	-	18.71
	4 Sub- bacias	I-1	34.55	28.04	37.41
		I-2	70.64	-	29.36
		I-3	95.21	-	4.79
		I-4	57.84	13.21	28.95
	8 planos verten- tes	I-1D	38.52	30.54	30.94
		I-1E	73.22	-	26.18
		I-2D	87.49	-	12.51
		I-2E	54.58	-	45.42
		I-3D	96.01	-	3.99
		I-3E	94.71	-	5.29
		I-4D	34.36	24.63	41.01
		I-4E	85.02	-	14.98
Divisão por tipo de solo	Solo Hidromórfico	I-1D	0.27	10.66	89.07
		I-1E	36.67	-	63.33
		I-2D			
		I-2E			
		I-3D	62.84	-	37.16
		I-3E	19.49	-	80.51
		I-4D	18.42	16.95	64.63
		I-4E	36.75	-	63.25

**Quadro 6**  
**Cobertura Vegetal – Ocupação percentual da área – Bacia I - continuação**

			COBERTURA VEGETAL (1998)		
			Cana-de-açúcar	Citrus	Mata
Divisão por tipo de solo	LVE textura argilosa	I-1D			
		I-1E			
		I-2D			
		I-2E	85.07	-	14.93
		I-3D	100.00	-	-
		I-3E	100.00	-	-
		I-4D			
		I-4E			
	LVE textura média	I-1D			
		I-1E	100.00	-	-
		I-2D			
		I-2E			
		I-3D			
		I-3E			
		I-4D			
		I-4E			
	Litossolo	I-1D	-	-	100.00
		I-1E	87.72	-	12.28
		I-2D	71.66	-	28.34
		I-2E	47.55	-	52.45
		I-3D			
		I-3E			
		I-4D	-	-	100.00
		I-4E	84.50	-	15.50

**Quadro 6**  
**Cobertura Vegetal – Ocupação percentual da área – Bacia I - continuação**

			COBERTURA VEGETAL (1998)		
			Cana-de-açúcar	Citrus	Mata
Divisão por tipo de solo	PVA textura argilosa	I-1D			
		I-1E			
		I-2D			
		I-2E	74.89	-	25.11
		I-3D	97.22	-	2.78
		I-3E	91.64	-	8.36
		I-4D	-	-	100.00
		I-4E	87.19	-	12.81
	PVA textura média	I-1D	41.74	32.25	26.01
		I-1E	74.30	-	25.70
		I-2D	98.38	-	1.62
		I-2E			
		I-3D			
		I-3E			
		I-4D	41.75	28.42	29.83
		I-4E			



**Quadro 7**  
**Relevo – Inclinação - Ocupação percentual da área – Bacia II**

			INCLINAÇÃO DOS TERRENOS (%)													
			0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70
Bacia II	Bacia		23.21	45.51	23.77	5.91	1.07	0.33	0.13	0.07						
	2 pl vert.	D	15.98	49.70	26.91	6.58	0.64	0.13	0.06							
		E	14.39	35.64	34.63	11.66	2.20	0.85	0.42	0.21						
	5 Sub- bacias	II-1	0.80	18.33	62.35	16.53	1.79	0.20								
		II-2	12.89	37.02	35.10	12.62	2.10	0.27								
		II-3	5.89	53.51	28.27	9.71	1.42	0.64	0.37	0.19						
		II-4	5.91	42.50	38.15	10.88	1.48	0.62	0.23	0.23						
		II-5	30.08	42.33	21.78	4.59	0.78	0.29	0.15							
	10 planos verten- tes	II-1D	0.81	11.38	69.51	16.67	1.63									
		II-1E	0.78	25.00	55.47	16.41	1.95	0.39								
		II-2D	4.37	46.45	37.16	12.02										
		II-2E	17.17	32.28	34.07	12.91	3.16	0.41								
		II-3D	3.24	67.49	22.01	6.66	0.60									
		II-3E	10.30	30.20	38.70	14.80	2.80	1.70	1.00	0.50						
		II-4D	6.38	42.08	41.13	9.78	0.53	0.10								
		II-4E	4.62	43.64	30.06	13.87	4.05	2.02	0.87	0.87						
		II-5D	29.56	44.48	21.22	3.86	0.55	0.22	0.11							
		II-5E	32.10	33.95	23.97	7.42	1.71	0.57	0.28							

**Quadro 8**  
**Relevo – Orientação - Ocupação percentual da área – Bacia II**

ORIENTAÇÃO DOS TERRENOS			N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Bacia II	Bacia		17.73	30.57	14.92	13.91	9.52	5.51	6.14	1.70
	2 pl vert.	D	23.84	49.41	23.43	1.18	0.27	0.04	0.43	1.40
		E	0.29	2.49	19.85	33.94	34.13	8.93	0.32	0.05
	5 Sub- bacias	II-1	68.52	22.71	0.60	-	-	-	-	8.17
		II-2	28.24	4.30	4.21	49.36	11.70	0.09	0.27	1.83
		II-3	20.73	41.13	0.64	4.57	26.77	5.89	0.15	0.12
		II-4	0.08	4.27	46.78	22.45	11.96	13.99	0.47	-
		II-5	1.52	39.17	37.86	11.03	8.94	0.17	0.99	0.32
	10 planos verten- tes	II-1D	81.30	3.25	-	-	-	-	-	15.45
		II-1E	56.25	41.41	1.17	-	-	-	-	1.17
		II-2D	83.61	10.66	0.27	-	-	-	-	5.46
		II-2E	0.41	1.10	6.18	74.18	17.58	0.14	0.41	-
		II-3D	33.17	65.63	0.66	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12
		II-3E	-	0.30	0.60	12.00	71.30	15.50	0.20	0.10
		II-4D	0.10	5.63	63.66	29.76	0.74	0.11	-	-
		II-4E	-	0.58	0.87	2.60	42.49	51.73	1.73	-
		II-5D	1.90	48.96	44.62	2.01	0.69	0.18	1.24	0.40
		II-5E	-	0.86	11.41	46.36	41.23	0.14	-	-

**Quadro 9**  
**Cobertura Vegetal – Ocupação percentual da área – Bacia II**

			COBERTURA VEGETAL (1998)		
			Cana-de-açúcar	Citrus	Mata
Bacia II	Bacia		38.74	53.56	7.70
	2 pl vert.	D	48.42	46.41	5.17
		E	28.34	59.27	12.40
	5 Sub- bacias	II-1	-	92.26	7.74
		II-2	-	86.45	13.55
		II-3	2.28	88.55	9.18
		II-4	36.80	55.33	7.87
		II-5	88.77	5.38	5.85
	10 planos verten- tes	II-1D	-	92.31	7.69
		II-1E	-	92.22	7.78
		II-2D	-	82.54	17.46
		II-2E	-	88.42	11.58
		II-3D	3.63	88.52	7.85
		II-3E	-	88.50	11.50
		II-4D	49.83	44.28	5.88
		II-4E	-	86.52	13.48
		II-5D	90.17	6.26	3.57
		II-5E	83.36	1.97	14.67



## VI - DISCUSSÃO

A partir das cartas obtidas e do cruzamento das informações relativas a topografia, solos e uso e ocupação, pode-se analisar a maior ou menor homogeneidade dentro de cada unidade e entre as unidades componentes dos esquemas espaciais escolhidos. Os resultados constantes dos Quadros 3 a 9 demonstram quais esquemas espaciais apresentam maior concentração dos parâmetros estudados. A análise da concentração de parâmetros permite escolher o esquema espacial em que há maior homogeneidade.

A Bacia I apresenta amplitude de variação de altitudes de 505m a 625m, a mesma amplitude encontrada na região em que se inserem as duas bacias estudadas. No entanto, na Bacia I, 60,49% dos terrenos mostram altitudes variando entre 565m e 610m, valores superiores aos encontrados na maior parte da área da região, em que 54,04% da área possuem altitudes entre 555m e 595m. Assim, esta bacia corresponde a uma porção mais elevada dentro da região em que se localiza. A Bacia II apresenta amplitude de variação de altitudes inferior à da Bacia I (120m na Bacia I e 80m na Bacia II) e suas altitudes são inferiores, com 64,84% da área situando-se entre 560m e 600m de altitude. A Bacia II é, portanto, mais plana que a Bacia I. Por apresentar superfície maior (4,6km<sup>2</sup>), seria de se esperar que a Bacia I apresentasse menor variação de altitudes em relação à Bacia II (0,9km<sup>2</sup>). Isto não ocorre pelo fato de a Bacia I situar-se na parte mais acidentada da região. Apesar de apresentarem diferenças entre si, as duas bacias mostram-se representativas da região em que se encontram. VERTESSY *et al.* (1993) realizaram estudo em uma bacia australiana com 0,32km<sup>2</sup> de superfície, coberta principalmente por floresta. As altitudes na bacia variavam entre 590m e 790m. Foi utilizado o esquema espacial de rede de malhas. A maior parte dos trabalhos revistos se referia a estudos realizados em áreas montanhosas. MOORE *et al.* (1993) estudaram uma área de 21,65 km<sup>2</sup> localizada na seção norte de Brindabella Range, Austrália, com altitudes variando de 842m a 1370m. Os modelos utilizados empregam atributos topográficos, derivados de um modelo numérico de terreno baseado em rede de grid, com resolução de 20m × 20m. Inclinação e orientação foram os principais fatores na determinação da variabilidade da radiação global, e, portanto, da evapotranspiração potencial.

Com relação a orientação, predomina na Bacia I a orientação Noroeste, com 18,30% dos terrenos voltados para esta direção, havendo ainda destaque para as orientações Oeste e Sul. Inversamente, na Bacia II predomina a orientação Nordeste, seguida das orientações Norte e

Leste. Isto é observado pois os cursos d'água nas bacias correm em direções opostas. A bacia estudada por VERTESSY *et al.* (1993) apresentava orientação predominantemente Sul. BAND *et al.* (1991) modelaram o escoamento superficial em uma floresta situada em terreno montanhoso complexo. A orientação exercia forte influência no ambiente, com base na exposição à radiação solar. Foi utilizado um esquema espacial de planos vertentes, que utilizou as facetas das encostas como unidade básica de paisagem, criando uma série de unidades definidas topograficamente.

As inclinações da Bacia I são inferiores a 15% de declividade em 56,58% da área, enquanto na Bacia II inclinações inferiores a 15% representam 92,49% da área, mostrando que esta bacia tem relevo mais suave que aquela. IORGULESCU e JORDAN (1994) estudaram uma bacia com área de 12,5km<sup>2</sup> e inclinação média de 4°. O modelo utilizado foi o Topmodel, com rede de malhas variando de 5m a 25m, para determinação dos mecanismos geradores de escoamento superficial. Na área estudada por MOORE *et al.* (1993), a variação de inclinação é de 0,4 a 114%, com média de 32% e desvio padrão de 15%. O local apresentava orientação predominantemente oriental, apesar da presença de grande variação de aspectos. A paisagem era caracterizada por topografia irregular e complexa. Também foi empregado o esquema espacial de malhas regulares.

Com relação aos solos encontrados nas bacias estudadas, observou-se que a Bacia II apresenta um único tipo de solo, o Podzólico Vermelho Amarelo textura média. Assim, o solo não é fator limitante para esta bacia. Já a Bacia I apresenta 6 diferentes tipos de solo, sendo que um deles, o Latossolo Vermelho Escuro textura média é pouco representativo, ocupando 0,05% da área total da bacia. Os solos se encontram agrupados em blocos, ocupando porções determinadas na bacia e não se mostram pulverizados pela área. Os Latossolos ocupam as partes mais altas da bacia, junto ao divisor de águas, enquanto os Podzólicos aparecem à medida em que as altitudes decrescem, à jusante. Os solos Hidromórfico e Litossolo se encontram junto ao curso d'água principal, concentrando-se o Litossolo à montante e o solo Hidromórfico à jusante. Pela sua distribuição espacial, o solo é um fator importante na espacialização da Bacia I e foi considerado no presente trabalho. Os trabalhos recuperados na literatura consideram características relativas a solos como parâmetros importantes da modelagem, no entanto os solos não são utilizados diretamente na definição dos esquemas espaciais utilizados (BAND *et al.*, 1991; PALACIOS-VÉLEZ e CUEVAS-RENAUD, 1992; CHRISTENSEN, 1994; GARROTE e BRAS, 1995; BOURAOUI *et al.*, 1997, entre outros). DUNN *et al.* (1998) empregaram um modelo hidrológico distribuído à Bacia Ythan, na Escócia, considerada atípica em relação às

demais bacias escocesas por sua homogeneidade com relação a topografia, ocupação do solo e tipos de solo, o que simplifica a modelagem. O solo mais comum encontrado na região é o franco arenoso fino. Foi utilizado um esquema espacial de malhas com  $50\text{m} \times 50\text{m}$  para uma área de  $548\text{km}^2$ . Na bacia do rio Severn, estudada por JOLLEY e WHEATER (1997), predominavam Solos Podzólicos e argilosos mal drenados. O objetivo do trabalho foi estudar os efeitos do tamanho da malha na simulação da geração do escoamento superficial. Foi utilizado um modelo geral de circulação atmosférica, com malha de  $40\text{km}$ .

A análise da dinâmica do uso e ocupação do solo ao longo de 20 anos mostra que não houve profundas alterações nas áreas com relação às culturas agrícolas utilizadas, tampouco com relação à localização das culturas dentro de cada bacia. A cultura canavieira predominava na Bacia I já em 1978, havendo um aumento de cerca de 10% na sua área de 1978 a 1998. Na Bacia II as culturas da cana-de-açúcar e citros dividiam a área quase que igualmente em 1978. Ao longo do tempo houve recuo de cerca de 6% na área ocupada por cana-de-açúcar e aumento de 7% na área ocupada pela citricultura. Pelo fato de não ter havido alterações dramáticas nas bacias com relação ao uso do solo, não houve portanto grandes movimentações de solo, perturbações que ocorrem quando há substituição de culturas, como no caso de substituição de uma cultura anual por outra perene. Assim, possíveis movimentações de solo tendem a ser devidas ao manejo empregado para cada cultura e também ao tipo de solo em que cada cultura está implantada. As culturas se encontram localizadas em blocos dentro das bacias. Na Bacia II a cultura canavieira ocupa área à montante da bacia e a citricultura se localiza à jusante. Na Bacia I a cana-de-açúcar predomina ao longo de toda a bacia.

IORGULESCU e JORDAN (1994) estudaram uma bacia com área de  $12,5\text{km}^2$ , altitudes variando entre 694m e 930m e inclinação média de  $4^\circ$ . Cerca de metade da área da bacia encontrava-se coberta por floresta, sendo o restante utilizado para agricultura com diversas culturas e pastagem perene. O esquema espacial utilizado foi o de malhas regulares e foi aplicado o modelo TOPMODEL. A bacia estudada por GARROTE e BRAS (1995) apresentava área de  $840\text{km}^2$ . Os vales eram dedicados à agricultura, e o restante dos terrenos eram florestados e montanhosos. A representação espacial utilizou a malha retangular do modelo de elevação digital. BOURAOUI *et al.* (1997) utilizaram um modelo de simulação de transporte superficial e subsuperficial de água no solo a uma bacia de aproximadamente  $320\text{km}^2$ . Na parte plana da bacia havia cultivo de milho e tabaco irrigados e girassol. A bacia foi dividida em unidades de volume com áreas de superfície regulares.

O esquema espacial que divide uma área em malhas regulares necessita de um grande número de informações, uma vez que são gerados muitas células que têm um valor agregado para cada parâmetro utilizado. Assim, ao se dividir a Bacia I em uma malha regular de 10m × 10m, são geradas 45.853 células. Se forem considerados três parâmetros, como solo, ocupação e topografia, o volume de informação é superior a 130.000 valores. Quanto maior a resolução, maior o volume de informação obtido. Outro aspecto a ser considerado é a dificuldade em estabelecer um sistema de conexão entre as células, que permita avaliar o movimento da água, tanto em superfície como subsuperficialmente. Muitos dos artigos revistos na literatura empregam malhas regulares para espacializar as bacias estudadas. Modelos que levam em consideração a topografia, como o TOPMODEL, procuram minimizar essa variabilidade, através da determinação de um índice topográfico que é utilizado para agrupar as células que compõem a malha em função da distribuição dos valores dos índices (ROBSON *et al.*, 1993). VILLENEUVE *et al.* (1986) desenvolveram um modelo para combinar as unidades de distribuição espacial em um número limitado de zonas que foram simuladas de maneira acumulada, o que permitiu diminuir o tempo computacional requerido pelas simulações. Na maior parte dos trabalhos, o estabelecimento desse esquema espacial é feito a partir da rede de malhas gerada pelo modelo numérico de terreno ou segundo outro critério que pode ou não levar em consideração as características hidrológicas da bacia (AL-SOUFI, 1987; MOORE *et al.*, 1993; VERTESSY *et al.*, 1993; CHRISTENSEN, 1994; ZHANG e MONTGOMERY, 1994; GARROTE e BRAS, 1995, entre outros).

Ao dividir-se a Bacia I em quatro sub-bacias, ficou mantido o predomínio da orientação Noroeste, como ocorria na bacia como um todo. Apenas na sub-bacia I-1 a orientação Norte superou a Noroeste, porém em pequena proporção. Nas sub-bacias em que a orientação Noroeste é a principal, sua proporção foi igual ou superior à da bacia inteira. A divisão, assim, acentuou uma característica da bacia. Com relação às inclinações, as sub-bacias apresentaram variações de declividade maiores que aquelas encontradas na bacia indivisa. Desta forma, a repartição em sub-bacias fez acentuar maiores inclinações. Mesmo tendo havido aumento da variabilidade das inclinações nas sub-bacias, este fato mostra-se importante para a simulação do escoamento superficial, permitindo determinar o movimento da água nas porções à montante e à jusante da bacia. Com relação a solos, somente a sub-bacia I-1 apresentou um único tipo de solo; nas outras sub-bacias são encontrados ainda vários tipos de solos. A homogeneidade aumenta com a divisão da bacia, porém em uma mesma sub-bacia ainda puderam ser encontrados solos com diferentes



características. A divisão da Bacia I em sub-bacias não diminuiu a heterogeneidade com relação à ocupação do solo. Apenas na sub-bacia I-3 havia predomínio de uma única cultura.

De modo geral, a divisão da Bacia II em sub-bacias fez com que fossem ressaltadas variações de inclinação na área, porém a maior parte dos terrenos continuou a apresentar inclinações inferiores a 15% de declividade. No caso da sub-bacia II-5, 94,19% dos terrenos apresentou inclinações inferiores a 15% de declividade, seguindo o observado para a bacia como um todo. Na Bacia II, a divisão em sub-bacias permitiu que uma das culturas prevalecesse em cada uma das sub-bacias, aumentando a homogeneidade.

WOLOCK (1995) estudou o efeito do tamanho da sub-bacia nas características topográficas de uma bacia com 111,5km<sup>2</sup> utilizando o modelo Topmodel. EL-HAMES e RICHARDS (1998) dividiram uma bacia com área de 170km<sup>2</sup> em 28 sub-bacias de acordo com a estrutura da rede de drenagem. Foram empregados submodelos do escoamento nas vertentes e na calha.

Na partição das sub-bacias da Bacia I em planos vertentes, acentuou-se ainda mais a diferença com relação às orientações. A orientação Noroeste predominou em três das oito vertentes com proporção ainda maior que a encontrada nas sub-bacias. Da mesma forma, foram acentuadas as diversas orientações observadas, aumentando a homogeneidade de orientações em cada plano vertente. O mesmo pode ser observado com relação às inclinações. Para cada plano vertente as inclinações já observadas no esquema de sub-bacias tiveram suas proporções aumentadas. Na divisão em duas vertentes, o predomínio de uma orientação não se mostrou tão acentuado como na divisão em um número maior de planos vertentes, o mesmo ocorrendo para as inclinações.

Também com relação aos tipos de solo os planos vertentes da Bacia I passaram a apresentar um tipo de solo predominante. Mesmo havendo outros tipos de solo presentes, havia sempre um tipo de solo ocupando mais de 60% da área. Na divisão em dois planos vertentes essa diferenciação foi observada para apenas uma das vertentes, enquanto a outra não apresentava esta característica. O mesmo fato foi observado com relação ao uso e ocupação do solo. Em cinco dos oito planos vertentes havia marcante predomínio de um único tipo de cultura.

Com relação ao relevo, o mesmo fato observado na divisão da Bacia II em sub-bacias se repetiu na divisão em planos vertentes. Em algumas vertentes pode ser observada a acentuação da variação de inclinações, ao passo que porcentagens maiores dos terrenos estavam voltados a uma

ou duas orientações.

Para a Bacia II, dentre os dez planos vertentes criados pela divisão das sub-bacias, somente os planos vertentes da sub-bacia II-4 não apresentaram predomínio de uma cobertura vegetal em relação às outras. Na divisão em dois planos vertentes não se observou uma predominância acentuada de uma cultura, havendo distribuição mais uniforme das culturas nas vertentes. Desta forma, foi possível observar que a divisão em planos vertentes favoreceu o isolamento de características das bacias, diminuindo a variabilidade encontrada nas bacias.

WATSON *et al.* (1998) utilizaram o esquema de planos vertentes em uma área de 163km<sup>2</sup> com cinco bacias de abastecimento de água. Foram criados 131 planos vertentes, com tamanho escolhido de modo subjetivo. A desagregação dos planos vertentes foi feita com base no índice topográfico de umidade. BRONSTERT (1999) descreveu um modelo que utilizou esquema espacial de planos vertentes para manejo da água e modelagem do transporte de sedimentos em pequenas bacias rurais. Foi efetuada a descrição das características hidrológicas de encostas agrícolas durante eventos de precipitação. Nas vertentes, para calcular o escoamento superficial, a topografia foi espacializada de duas maneiras, em unidades de comprimento e inclinação, e em malhas regulares.

Seria ainda possível utilizar uma outra subdivisão a partir dos planos vertentes. Um outro esquema espacial levaria em consideração o solo, repartindo os planos vertentes a partir dos tipos de solo presentes. O solo é fundamental no estudo do ciclo hidrológico por influenciar a infiltração, o escoamento superficial e a disponibilidade de água para as plantas. Além disso, o solo não apresenta a mobilidade que tem a cobertura vegetal, que pode ser eliminada ou substituída. Na escala deste trabalho não há também grande variabilidade de vegetação. Assim, neste tipo de esquema espacial seria possível fixar a cobertura vegetal que fosse mais predominante e utilizar as inclinações e orientações médias da vertente. O plano vertente define a direção do movimento da água no solo, que segue em direção ao curso d'água, o que agrega mais uma informação em termos de escoamento.

Essa nova divisão dos planos vertentes em função do tipo de solo encontrado em cada um deles tende a diminuir a variabilidade dos outros parâmetros estudados. Assim, tomando como exemplo as vertentes direita e esquerda das sub-bacias I-2 e I-3 pertencentes à Bacia I, foi observado que tanto para orientação como para inclinação acentuam-se ou não se alteram os valores obtidos quando nenhum parâmetro determinado é considerado. Assim, como exemplo, a

vertente esquerda da sub-bacia I-2 apresentava 65,24% dos terrenos com inclinações variando entre 10% e 25% de declividade. No esquema proposto, esse valor se altera para 71,64% para o solo Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa, 91,91% para o solo Podzólico Vermelho Amarelo textura argilosa e 100% para o Litossolo, sendo que neste último caso, as inclinações não ultrapassam 15% de declividade. Com relação ao uso do solo, somente para o solo Litossolo pertencente à vertente esquerda da sub-bacia I-2, há equilíbrio entre as culturas. Para todas os outros casos, uma cultura supera as outras em mais de 60% (Apêndice J - Figuras J1, J2 e J3).

A observação dos valores constantes dos Quadros 3 a 6 mostra o aumento na concentração dos parâmetros inclinação, orientação e uso do solo referentes a este esquema espacial, justificando sua escolha como o esquema que melhor representa as características fisiográficas das bacias estudadas.

BRONSTERT (1999), que utilizou esquema espacial de planos vertentes, realizou a simulação contínua da dinâmica da água para uma vertente agrícola de 180m pertencente à Bacia Weiherbach durante 18 meses. O solo da vertente era constituído por três classes típicas de “loess” (depósitos glaciais: “pure loess”, “alluvial loess” e “loamy loess”). Foi utilizado o valor médio de amostras das três classes de solo para calibração do modelo, tendo sido obtidos valores de  $\theta_s$  e  $k_s$  para cada classe de solo dentro da vertente. Assim, o solo não foi utilizado como critério de espacialização, apesar de ter sido empregado como parâmetro de modelagem.



## VII – CONCLUSÃO

É fundamental a determinação dos esquemas de distribuição espacial das características do meio físico para estudos realizados em bacias hidrográficas. A representação espacial adequada permite avaliar o movimento da água ao longo da bacia e a influência que fatores como relevo, tipo de solo e cobertura do solo exercem sobre a quantidade e qualidade da água que passa por uma seção de controle. Em porções da bacia com relevo mais acidentado, a velocidade do fluxo da água de precipitação é maior, o que pode acarretar maior carreamento de partículas de solo e nutrientes. Em facetas que recebem maior quantidade de radiação solar, a evapotranspiração tenderá a ser maior, e o desenvolvimento vegetal mais acentuado. As características dos solos afetam a capacidade de infiltração da água no perfil, contribuindo na formação do escoamento, tanto superficial como subsuperficial. Especialmente em áreas agrícolas, o tipo de cobertura vegetal existente e o seu estágio de desenvolvimento determinam as quantidades de água perdidas por interceptação e as que efetivamente atingem o solo. Todos esses aspectos se relacionam de maneira complexa. Assim, quanto mais informações forem obtidas a respeito de suas características e de sua mútua interrelação, melhores avaliações poderão ser realizadas com relação à disponibilidade dos recursos hídricos.

Após a coleta de informações das características do meio físico de duas pequenas bacias hidrográficas pertencentes à bacia do rio Piracicaba e a elaboração de cartas que representam essas características, foram estudados alguns esquemas espaciais empregados em modelagem hidrológica, como o esquema de malhas regulares, sub-bacias e planos vertentes. Verificou-se que o esquema espacial mais adequado para representar as características físicas das bacias estudadas é a divisão em planos vertentes. O esquema espacial de planos vertentes permite uma melhor representação do relevo, sendo possível determinar as porções das bacias em que o relevo, sendo mais acidentado, favorecerá a velocidade do movimento descendente da água. Esse esquema também possibilita maior homogeneidade de solos e uso do solo para as bacias estudadas. No caso da Bacia I, em que o solo representa um aspecto importante, o melhor esquema é o que incorpora a divisão das vertentes pelos tipos de solo. O solo dessa bacia encontra-se distribuído em blocos, o que facilita sua utilização como base da repartição das vertentes. A constância da exploração agrícola na bacia também favorece esse esquema, uma vez que não tem havido grandes movimentações de solo na região. Os resultados apresentados nos Quadros 3 a 15 mostram tendência a aumento na porcentagem de área ocupada pelas

características físicas das bacias à medida em que aumenta o nível de subdivisão, proporcionando maior homogeneidade para o esquema espacial que divide cada sub-bacia em dois planos vertentes.

A utilização de esquemas de representação espacial é importante não somente para modelagem hidrológica, por apresentar indicações de como a água se movimenta na bacia, mas também para representar o meio físico em estudos envolvendo outros recursos naturais. O solo é um recurso que tem a dinâmica de sua formação diretamente relacionada ao relevo e clima. O mesmo acontece com a vegetação. Assim, os recursos naturais estão fortemente relacionados, e a representação de como esses recursos se distribuem espacialmente é fundamental no estabelecimento dessas relações.

Os recursos hídricos estão diretamente relacionados aos aspectos que determinam a sustentabilidade. Sem água de qualidade, os esforços por desenvolvimento social e econômico sustentáveis são comprometidos e a proteção dos recursos materiais necessários à manutenção da vida são prejudicados. Estudos que permitam a definição mais precisa da disponibilidade de recursos naturais são importantes para o estabelecimentos de diretrizes de desenvolvimento sustentável.

## VIII - BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- AL-SOUFI, R. A physically-based model for the agrohydrologic processes. **Journal of Hydrology**, v.93, p.199-219, 1987.
- AMARO, A. A., MAIA, M. L. Produção e comércio de laranja e de suco no Brasil. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.27, n.7, p.11-23, 1997.
- AMBROISE, BRUNO, BEVEN, KEITH, FREER, JIM Toward a generalization of the TOPMODEL concepts: Topographic indices of hydrological similarity. **Water Resources Research**, v.32, n.7, p.2135-2145, 1996.
- ARNOLD, NEIL, RICHARDS, KEITH, WILLIS, IAN, SHARP, MARTIN Initial results from a distributed, physically based model of glacier hydrology. **Hydrological Processes** v.12, p.191-219, 1998
- BAND, LAWRENCE E., PETERSON, DAVID L., RUNNING, STEVEN W., COUGHLAN, JOSEPH, LAMMERS, RICHARD, DUNGAN JENNIFER, NEMANI, RAMAKRISHNA Forest ecosystem processes at the watershed scale: basis for distributed simulation, **Ecological Modelling**, v.56, p.171-196, 1991.
- BERGSTRÖM, STEN Principles and confidence in hydrological modelling. **Nordic Hydrology**, v.22, p.123-136, 1991.
- BERTONI, JOSÉ; LOMBARDI NETO, FRANCISCO *Conservação do solo*. São Paulo, Ed. Ícone 1990, 355p.
- BEVEN, K. J., KIRKBY, M. L. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Bulletin**, v.24, n.4, p.43-69, 1979.

- BEVEN, K. Changing ideas in hydrology – The case of physically-based models. **Journal of Hydrology**, v.105, p.157-172, 1989.
- BONN, F., ROCHON, G. *Précis de Télédétection vol. 1: Principes et Méthodes*. Press de l'Université du Quebec, 1992. 485p.
- BOURAOUI, F., VACHAUD, G., HAVERKAMP, R., NORMAND, B. A distributed physical approach for surface-subsurface water transport modeling in agricultural watersheds. **Journal of Hidrology**, v.203, p.79-92, 1997.
- BRASIL Programa Nacional de microbacias hidrográficas – manual operativo. Brasília, Ministério da Agricultura, Comissão Nacional de Coordenação do Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas. 1986, 60p.
- BRONSTERT, AXEL Capabilities and limitations of detailed hillslope hydrological modelling. **Hydrological Processes**, v.13, p.21-48, 1999.
- CALDER, I. R. A model of transpiration and interception loss from a spruce forest in Plynlimon, central Wales. **Journal of Hydrology**, v.33, p.247-265, 1977.
- CAMARGO, A. M. M. P. DE et al. Alteração na composição da agropecuária no Estado de São Paulo, 1983-93. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.25, n.5, p.49-81, 1995.
- CHEVALLIER, P. Aquisição e processamento de dados. In: TUCCI, C. E. M. org. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre, Editora da Universidade: ABRH, 1993. 943p. P. 485-525.
- CHRISTENSEN, STEEN Hydrological model for the Tude Å catchment. **Nordic Hydrology** v.25, p.145-166, 1994.
- CHUTHA, PROMCHINAVONGS, DOOGE, JAMES C. I. The shape parameters of the geomorphologic unit hydrograph. **Journal of Hydrology** n.117, p.81-97, 1990.



- DAEE-DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Caracterização dos recursos hídricos no Estado de São Paulo. São Paulo, DAEE, 1984.
- DISKIN, M. H., SIMPSON, E. S. A quasi-linear spatially distributed cell model for the surface runoff system. **Water Resources Bulletin**, v.14, p.903-908, 1978.
- DUNN, S. M., McALISTER, E., FERRIER, R. C. Development and application of a distributed catchment-scale hydrological model for the River Ythan, NE Scotland. **Hydrological Processes** v.12, p.401-416, 1998.
- EL-HAMES, A. S., RICHARDS, K. S. An integrated, physically based model for arid region flash flood prediction capable of simulating dynamic transmission loss. **Hydrological Processes** v.12, p.1219-1232, 1998.
- FELTRAN FILHO, A. *Contribuição à análise fluviométrica da Bacia do rio Piracicaba*. Rio Claro, 1982. 132p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP.
- FLEMING, G. Computer Techniques in Hydrology. New York: Environmental Sciences Series Elsevier, 1977., 333p., p.70-71.
- FORTIN, J. P., VILLENEUVE, J. P., BENOIT, J., BLANCHETTE, C., MONTMINY, M., PROULX, H., MOUSSA, R., BOCQUILLON, C. *Hydrotel 2.1: User's guide*. Université du Québec, Institut National de la Recherche Scientifique, 1990. 160p.
- GARROTE, LUIS, BRAS, RAFAEL L. A distributed model for real-time flood forecasting using digital elevation models. **Journal of Hydrology**, n.167, p.279-306, 1995
- GIRAD, G.; LEDOUX, E.; VILLENEUVE, J. P. Le modèle couple, simulation des écoulements de surface et souterrains sur un système hydrologique. **Cahier ORSTOM, série hydrologie**, v.XVIII, n.4, p.195-279, 1981.

- GOODLAND, R. The concept of sustentability. **Impact Assessment**, n.12, p.275-301, 1994.
- GRAYSON, R. B.; MOORE, I. D.; McMAHON, T. A. Physically based hydrologic modeling. 1. A terrain-based model for investigative purposes. **Water Resources Research**, v.28, n.10, p.2639-2658, 1992.
- GUMBRICHT, T.; THUNVIK, R. 3D Hydrogeological Modelling with an Expert GIS Interface. **Nordic Hydrology**, 28 n.4/5, p.329-338, 1997.
- IORGULESCU, I., JORDAN, J.-P. Validation of TOPMODEL on a small Swiss catchment. **Journal of Hydrology**, n.159, p.255-273, 1994.
- JOLLEY, T. J., WHEATER H. S. An investigation into the effect of spatial scale on the performance of a one-dimensional water balance model. **Hydrological Processes** v.11, p.1927-1944, 1997.
- JONES, H. G. *Plants and microclimate*. 2.ed. Cambridge University Press, 1992. 428p, 1992.
- KITE, G. W.; KOUWEN N. Watershed modeling using land classifications. **Water Resources Research**, v.28, n.12, p.3193-3200, 1992.
- LAPEN, DAVID R.; MARTZ, LAWRENCE W. An investigation of the spatial association between snow depth and topography in a Prairie agricultural landscape using digital terrain analysis. **Journal of Hydrology**, n.184, p.277-298, 1996.
- LARSON, C. L., ONSTAD, C. A., RICHARDSON, H. H., DALE, G., BROOKS, K. N. Some particular watersheds models. In: HAAN, C. T. ed., JOHNSON, H. P. ed., BRAKENSIEK, D. L. ed. *Hydrologic Modeling of Small Watersheds*. Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 1982. 533p. P.409-434.
- LAURINI, R.; MILLERET-RAFFORT, F. *Les bases de donnees en geomatique: Traite de nouvelles technologies*. Paris: Hermes, 1993. 340p. (séries geomatiques).

- MAIA, M. L. et al. Produção e comercialização das frutas cítricas no Brasil. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v.43, n.1, p.1-42, 1996.
- MARGARIDO, M. A. A. Agroindústria citrícola: aspectos estruturais e mercadológicos. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v.43 n.2, p.45-65, 1996.
- MAX-NEEF, M.; ANTONIO, E.; HOPENHAYNE, M. *Human scale development: conception, application and further reflections*. Apex Press, New York, 1991.
- MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B. Terrain-Based catchment partitioning and runoff prediction using vector elevation data, **Water Resources Research**, v.27, n.6, p.1177-1191, 1991.
- MOORE, I. D., NORTON, T. W., WILLIAMS, J. E. Modelling environmental heterogeneity in forested landscapes. **Journal of Hydrology**, n.150, p.717-747, 1993.
- MOREL-SEYTOUX, H. J., ALHASSOUN, S. A. *SWATCH: swiss watch watershed model for simulation of surface and subsurface flows in stream-aquifer system*. Colorado State University, Civil Engineering Department, 1987. 297p.
- MORISON, J. I. L. Intercellular CO<sub>2</sub> concentration and stomatal response to CO<sub>2</sub>. In: ZEIGER E. ed., FARQUHAR G. D. ed., COWAN I. R. ed. *Stomatal Function*. Stanford: Stanford University Press, 1987. p.229-252.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento **Nosso Futuro Comum**. Rio de Janeiro: Editora Fundação Getúlio Vargas, 1991.
- PALACIOS-VÉLEZ, OSCAR LUIS e CUEVAS-RENAUD, BALTASAR. SHIFT: a distributed runoff model using irregular triangular facets, **Journal of Hydrology**, v.134, p.35-55, 1992.
- PARANHOS S. B. *Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização*. Fundação Cargill, 1987. p.356-433.

- RISSON, M. *Incidence de la complexité du milieu physique et des lois de comportement sur la réponse hydrologique d'un bassin versant. Modèle de représentation et de dynamique. Application au bassin versant de la Peyne*. Université Montpellier II Science et Technique du Languedoc, 1995. 340p.
- ROBSON, A. J.; WHITEHEAD, P. G.; JOHNSON, R. C. An application of a physically based semi-distributed model to the Balquhider catchments, **Journal of Hydrology**, v.145, p.357-370, 1993.
- ROUET, P. *Les données dans les systèmes d'information géographique: Traité de nouvelles technologies - Séries géographie assistée par ordinateur*, 1991, 278p.
- SALATI, E.; LEMOS, H. M. de; SALATI, E. Água e o desenvolvimento sustentável. In REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. & TUNDISI, J. G. Águas doces no Brasil. Instituto de Estudos Avançados – USP, Escrituras Editora e Distribuidora de Livros, São Paulo, 1999, 717p.
- SAULNIER, G., BEVEN, K., OBLED, C. Including spatially variable effective soil depths in TOPMODEL. **Journal of Hydrology**, n.202, p.158-172, 1997a.
- SAULNIER, G.; BEVEN, K.; OBLED, C. Digital elevation analysis for distributed hydrological modeling: Reducing scale dependence in effective hydraulic conductivity values, **Water Resources Research**, 33 - 9: 2097-2101, 1997b.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE *Estabelecimento de metas ambientais e reenquadramento dos corpos d'água: Bacia do Rio Piracicaba*. São Paulo, 1994. 81p. (Série relatórios da Secretaria do Meio Ambiente).

- SILVEIRA, A. L. L. da Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. org. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: Editora da Universidade, ABRH, 1993. 943p. P.35-51.
- SINGH, V. P. *Hydrologic systems: Rainfall-Runoff modeling*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1988. 480p. (v. I).
- STEN Principles and confidence in hydrological modelling. **Nordic Hydrology** v.22, p.123-136, 1991.
- STEWART J. B. Measurement and prediction of evaporation from forested and agricultural catchment. **Agricultural Water Management**, v.8, p.1-28, 1984.
- TEIXEIRA FILHO, J. *Estudo de Modelos Matemáticos de Qualidade de Água: A Aplicação do Modelo QUAL-I na Bacia do Rio Piracicaba*. São Paulo, 1989. 230p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, USP.
- TEIXEIRA FILHO, J. *Analyse et modélisation du fonctionnement hydrique d'un écosystème forestier méditerranéen: Spatialisation a l'échelle du bassin versant*. Montpellier, 1995. 312p. (Tese de Doutorado) - Université de Montpellier II Science et Technique du Languedoc.
- THIERFELDER, TOMAS The morphology of landscape elements as predictors of water quality in glacial/boreal lakes. **Journal of Hydrology** v.207, p.189-203, 1998.
- TILTON, J. E.; SKINNER, B. J. The Meaning of Resources. In: McLAREN, D. J.; SKINNER, B. J. ed. **Resources and World Development**. New York, John Wiley & sons, p.13-28, 1987.
- VERTESSY, R. A., HATTON, T. J., O'SHAUGHNESSY, P. J., JAYASURIYA, M. D. A. Predicting water yield from a mountain ash forest catchment using a terrain analysis based catchment model. **Journal of Hydrology**, n.150, p.665-700, 1993.

- VIEUX, BAXTER E., FARAJALLA, NADIM S. Capturing the essential spatial variability in distributed hydrological modelling: hydraulic roughness. **Hydrological Processes** v.8, p.221-236, 1994.
- VILLENEUVE, J-P.; HOULE. S.; ISABEL, D. A distributed hydrological model adapted to the automatic calibration of parameters. **Journal of Hydrology**, n.87, p.1-8, 1986.
- WANG, GUANG-TE, CHEN, SHULIN A linear spatially distributed model for a surface rainfall-runoff system. **Journal of Hydrology**, v.185, p.183-198, 1996.
- WATSON, FRED G. R., GRAYSON, RODGER B., VERTESSY, ROBERT A., McMAHON, THOMAS A. Large-scale distribution modelling and the utility of detailed ground data. **Hydrological Processes**, v.12, p.873-888, 1998.
- WIGMOSTA, M.; VAIL, L.W.; LETTENMAIER, D.P. A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. **Water Resources Research**, v.30, n.6, p.1665-1679, 1994.
- WOLOCK, D. M. Effects of subbasin size on topographic characteristics and simulated flow paths in Sleepers River watershed, Vermont. **Water Resources Research**, v.31, n.8, p.1989-1997, 1995.
- WOOD, ERIC F., SIVAPALAN, M., BEVEN, KEITH, BAND, LARRY Effects of spatial variability and scale with implications to hydrologic modeling. **Journal of Hydrology**, n.102, p.29-47, 1988.
- ZHANG, WEIHUA & MONTGOMERY, DAVID R. Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulations. **Water Resources Research**, v.30, n.4, p.1019-1028, 1994.
- ZIMMERMANN M. H. *Xylem structure and the ascent of sap*. Springer-Verlag, 1983. 143p. (Springer series in Wood Science).

# *Relevo*





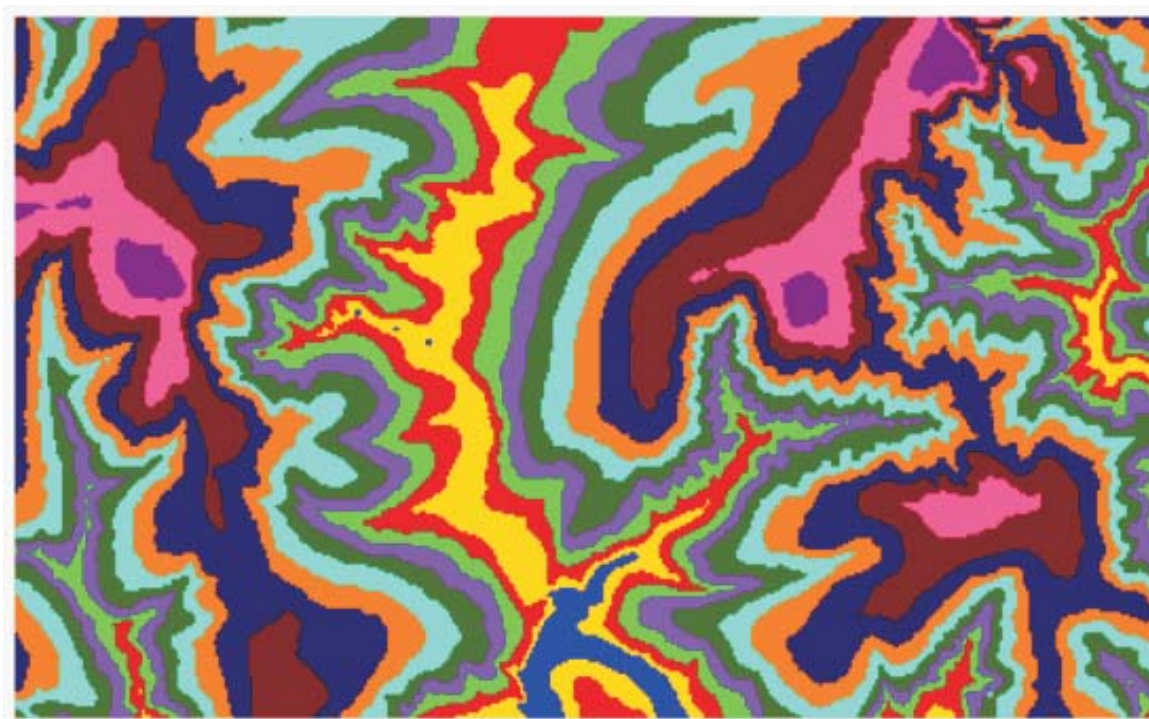
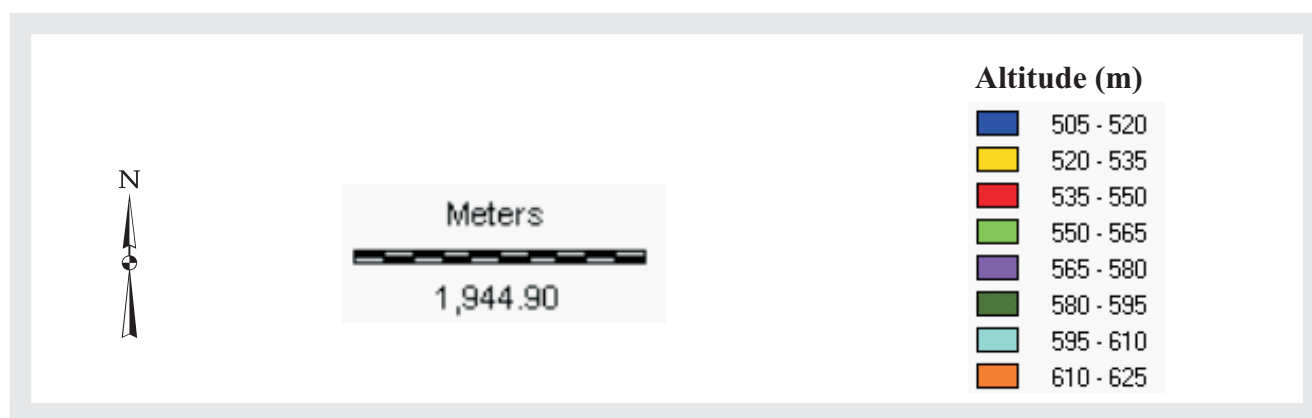


Figura A1 - Carta de altitudes - Região das bacias

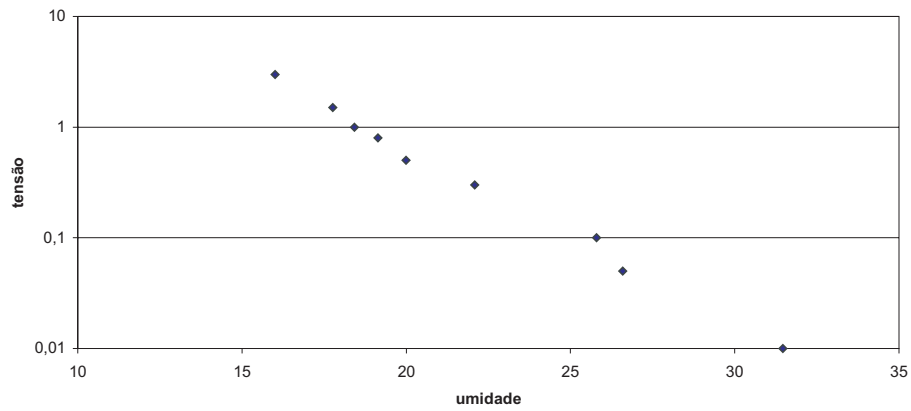




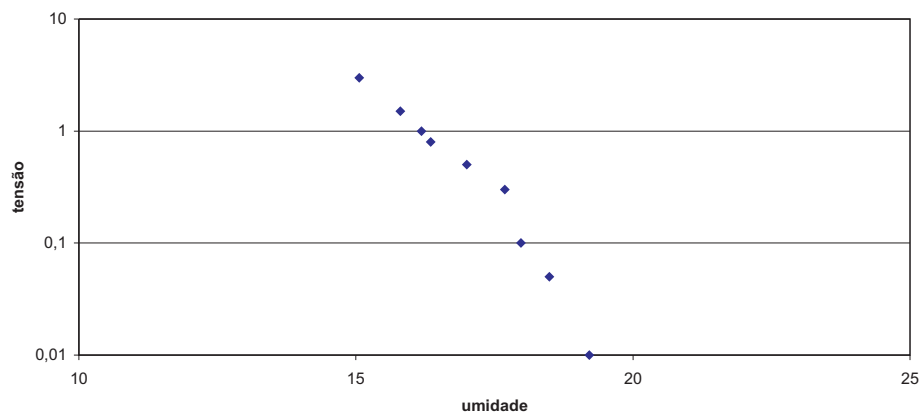
Solo



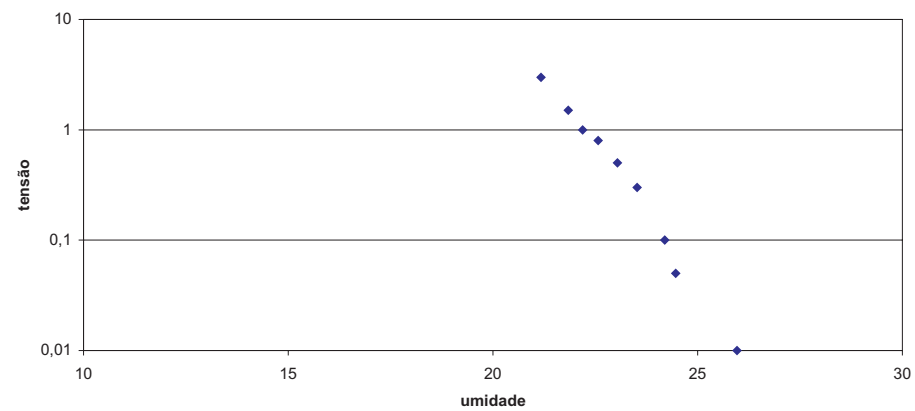
Curva tensão x umidade - Hidromórfico - superfície



Curva tensão x umidade - PVA textura argilosa - superfície

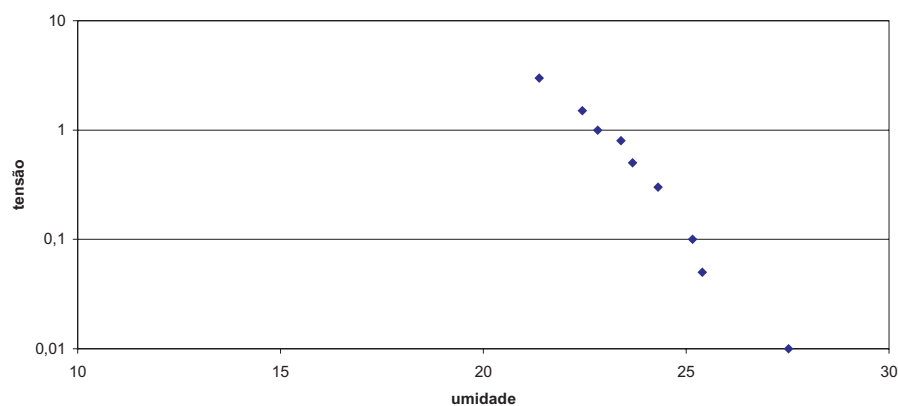


Curva tensão x umidade - PVA textura argilosa - 25-30cm de profundidade

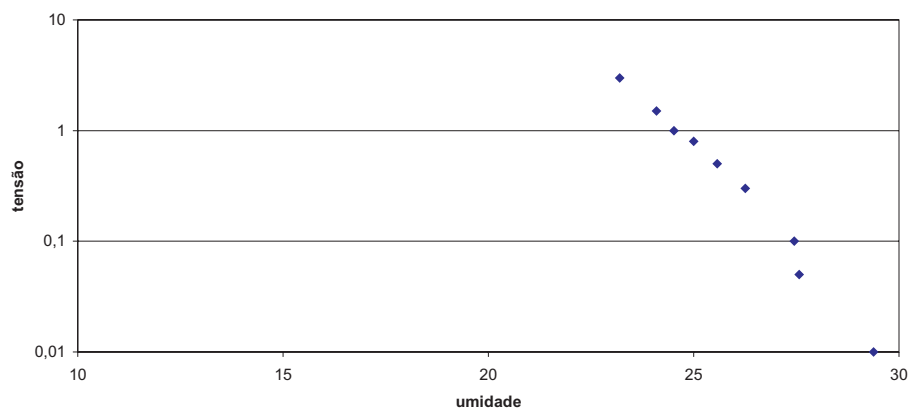




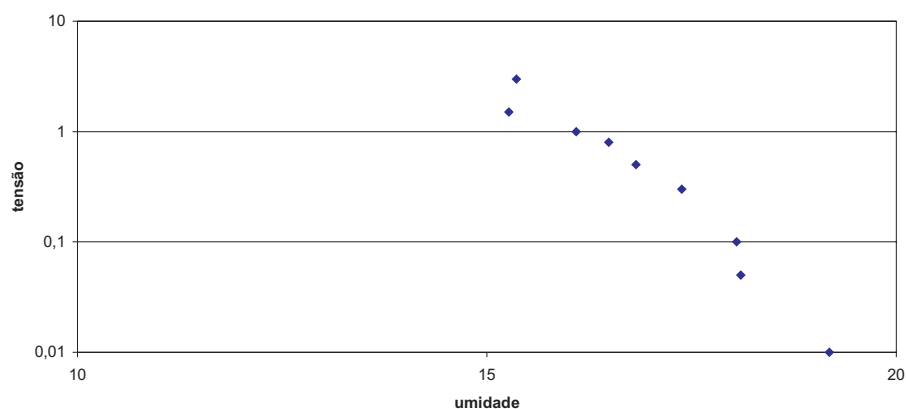
Curva tensão x umidade - PVA textura argilosa - 60cm de profundidade



Curva tensão x umidade - PVA textura argilosa - 1m de profundidade



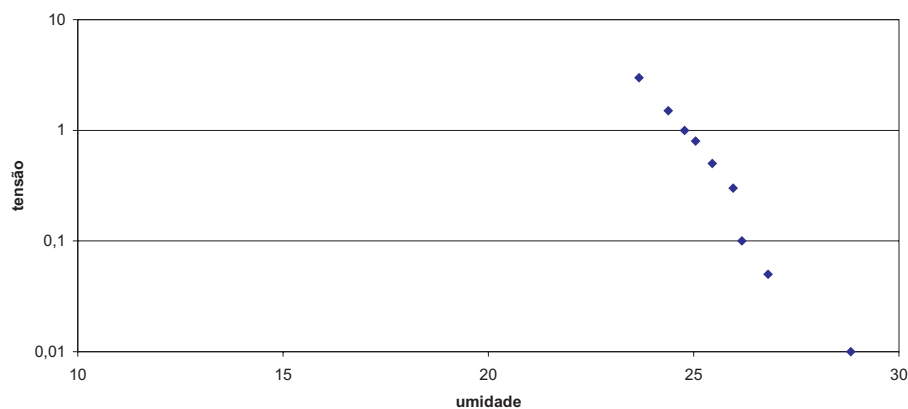
Curva tensão x umidade - LVE textura argilosa - superfície



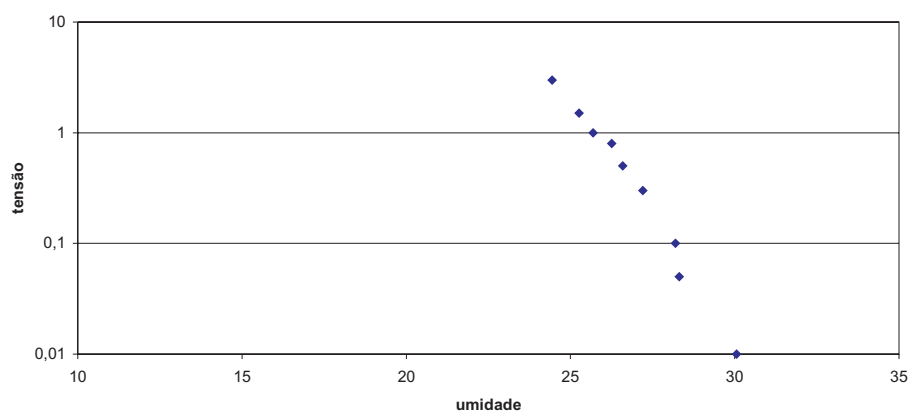




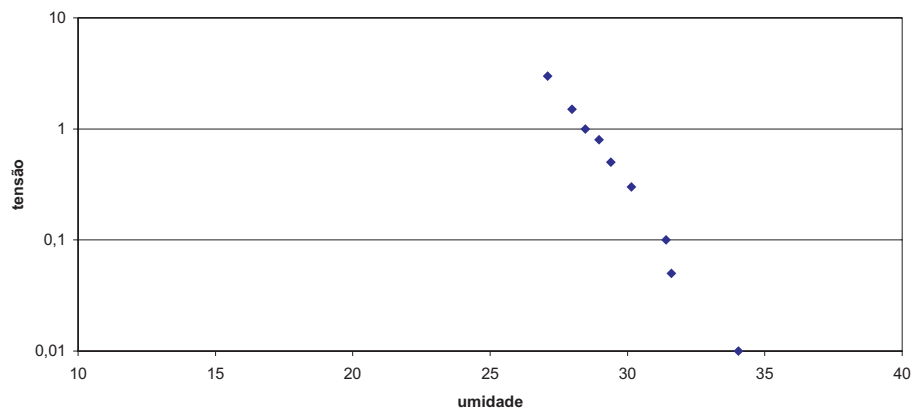
curva tensão x umidade - LVE textura argilosa - 25-30cm de profundidade



Curva tensão x umidade - LVE textura argilosa - 60cm de profundidade

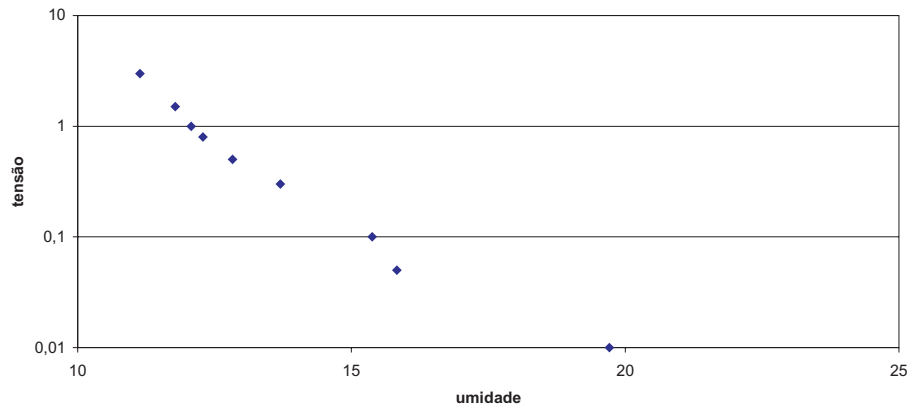


Curva tensão x umidade - LVE textura argilosa - 1m de profundidade

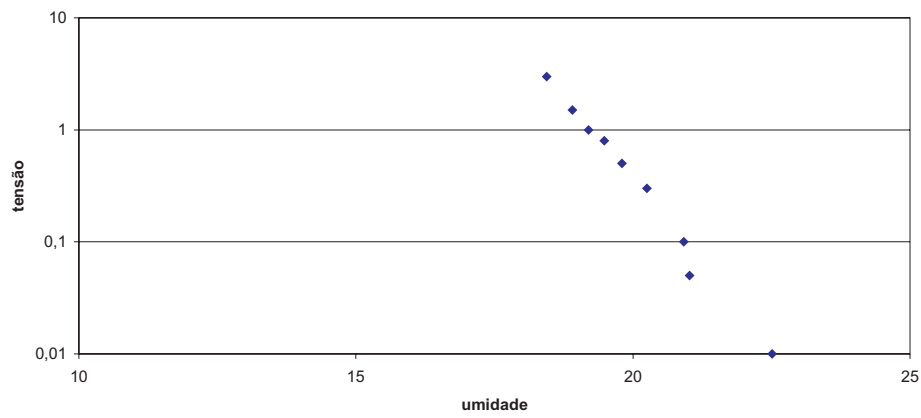




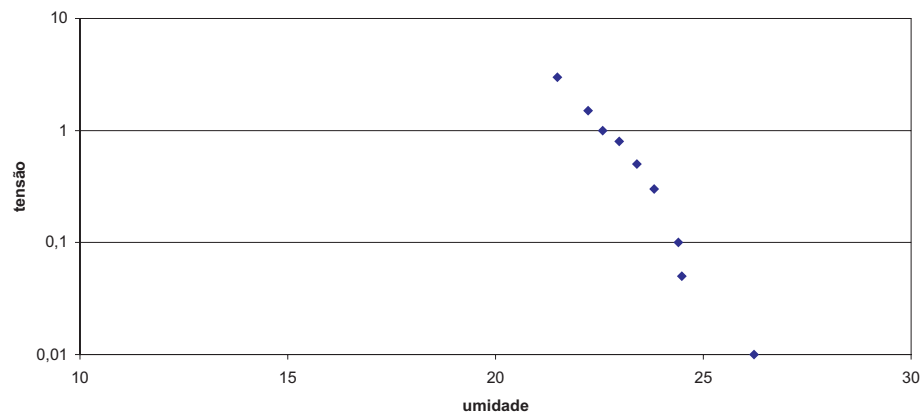
Curva tensão x umidade - Litossolo - superfície



Curva tensão x umidade - Litossolo - 25-30cm de profundidade

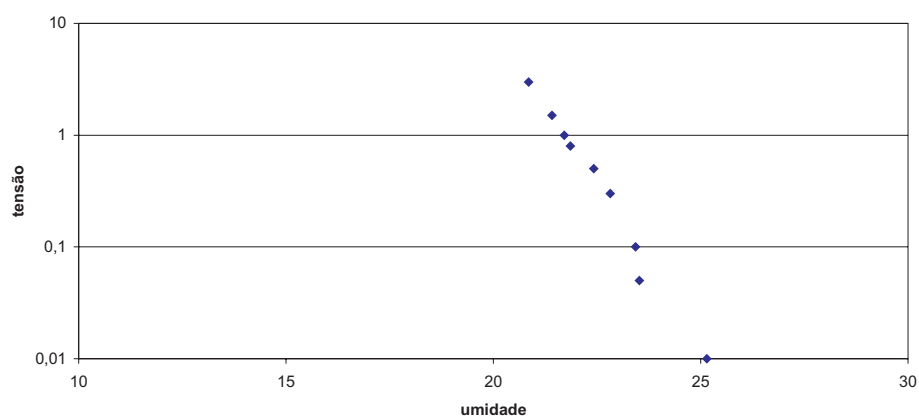


Curva tensão x umidade - Litossolo - 60cm de profundidade

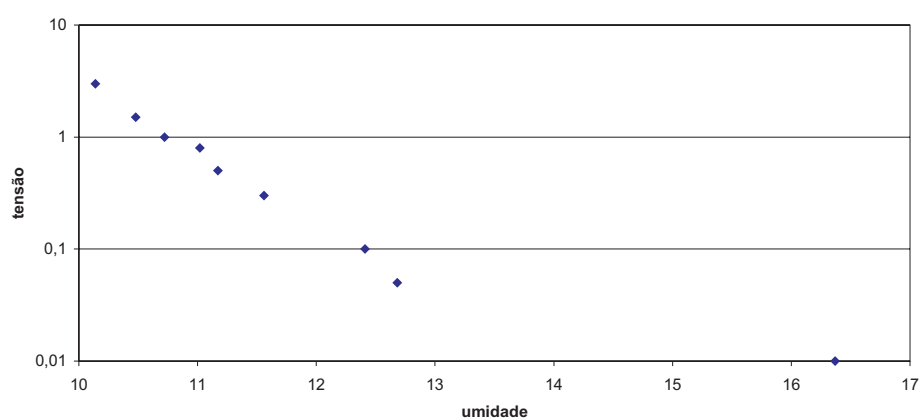




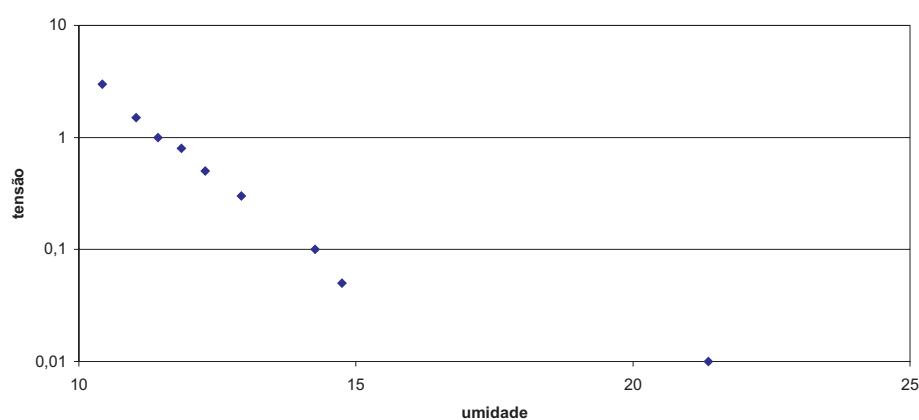
Curva tensão x umidade - Litossolo - 1m de profundidade



Curva tensão x umidade - PVA textura média - superfície

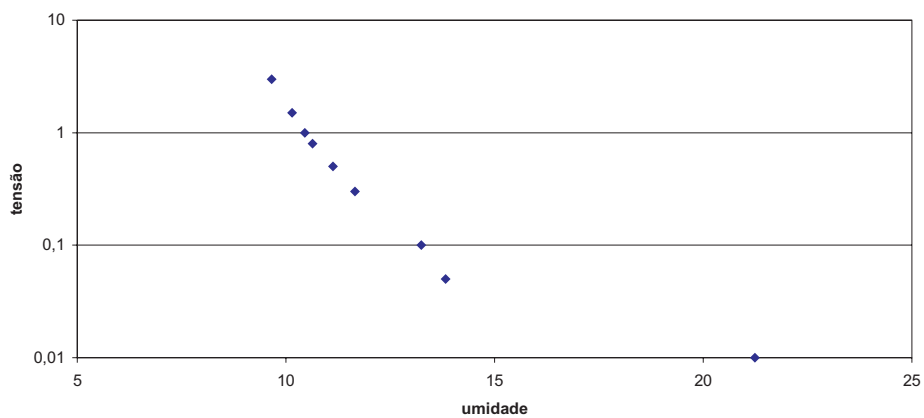


Curva tensão x umidade - PVA textura média - 25-30cm de profundidade

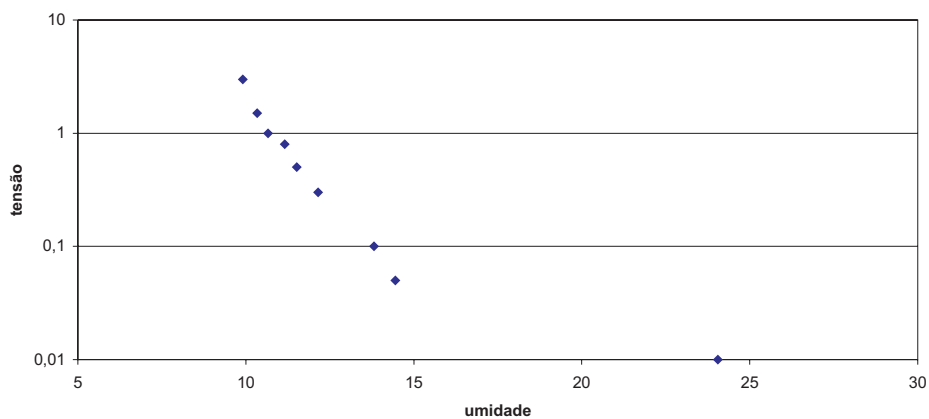




Curva tensão x umidade - PVA textura média - 60cm de profundidade



curva tensão x umidade - PVA textura média - 1m de profundidade







## *Uso do Solo*

---





**Figura C1 - Carta de uso do solo**

**Bacia I - 1978**



**Figura C2 - Carta de uso do solo**

**Bacia I - 1988**



Meters



972.44

**Cobertura Vegetal**

	cana-de-açúcar
	citros
	mata
	pastagem





**Figura C3 - Carta de uso do solo**

**Bacia II - 1978**



**Figura C4 - Carta de uso do solo**

**Bacia II - 1988**






Meters



484.35

**Cobertura Vegetal**

-  cana-de-açúcar
-  citros
-  mata



# *Sub-bacias Relevo*





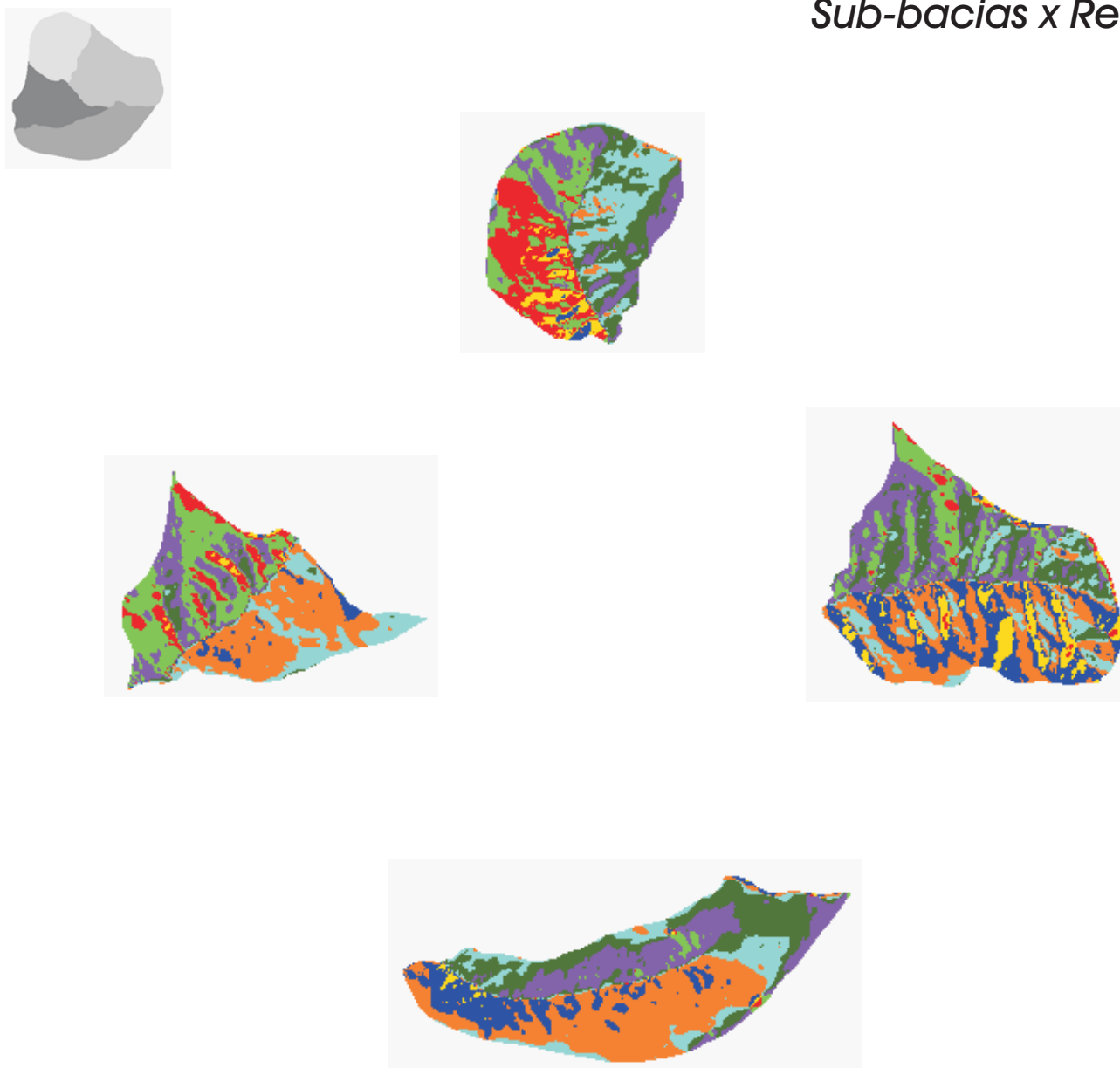
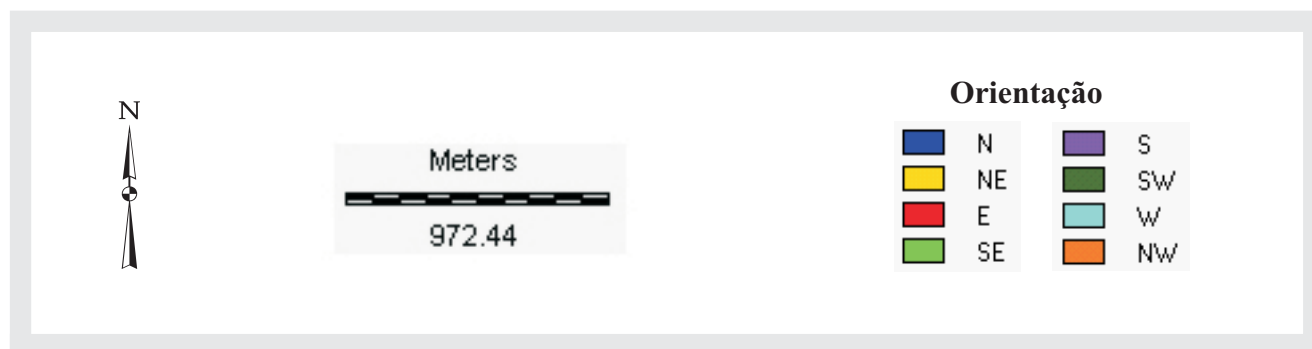


Figura D1 - Carta de orientação dos terrenos - Bacia I - Sub-bacias





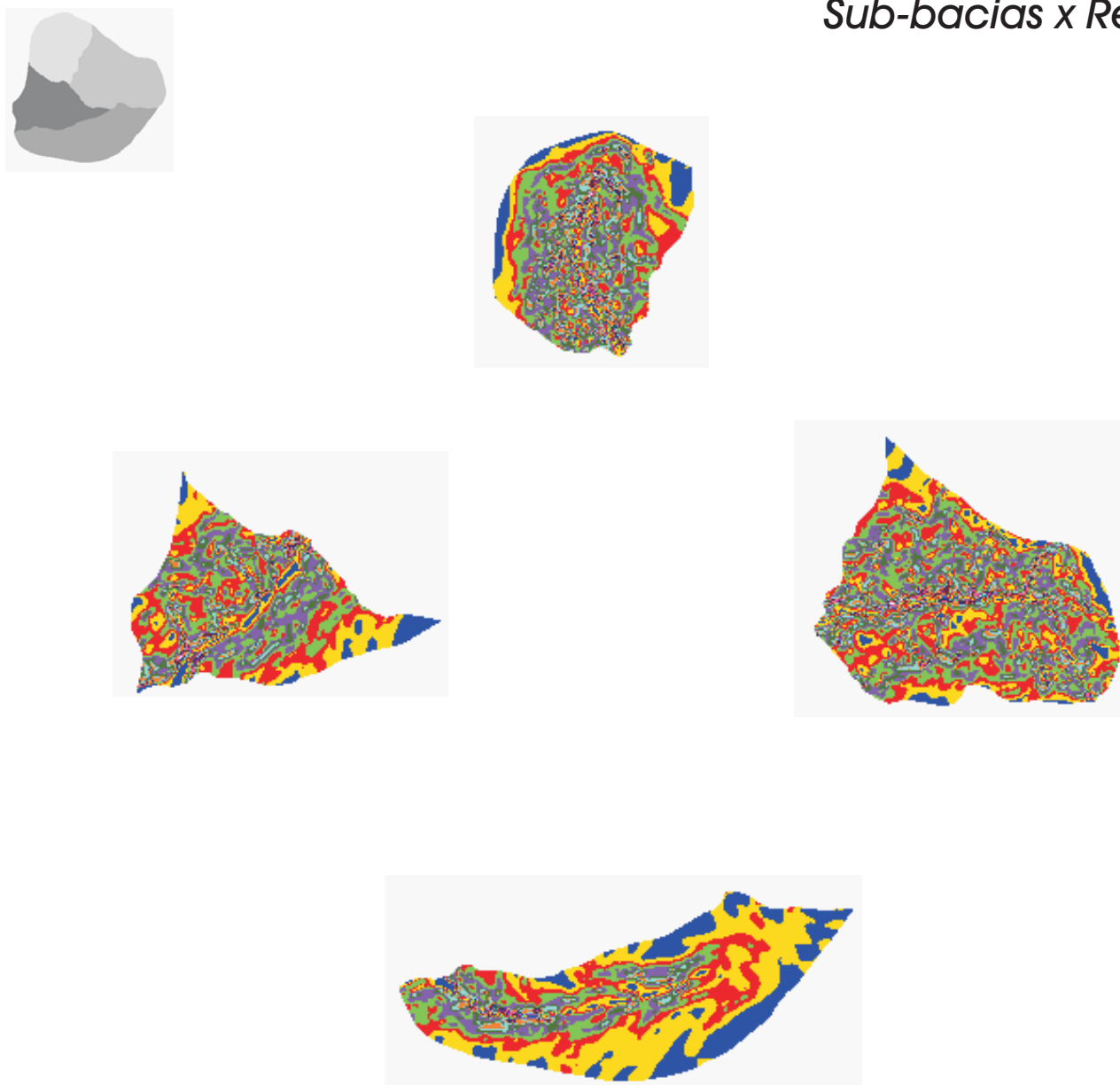
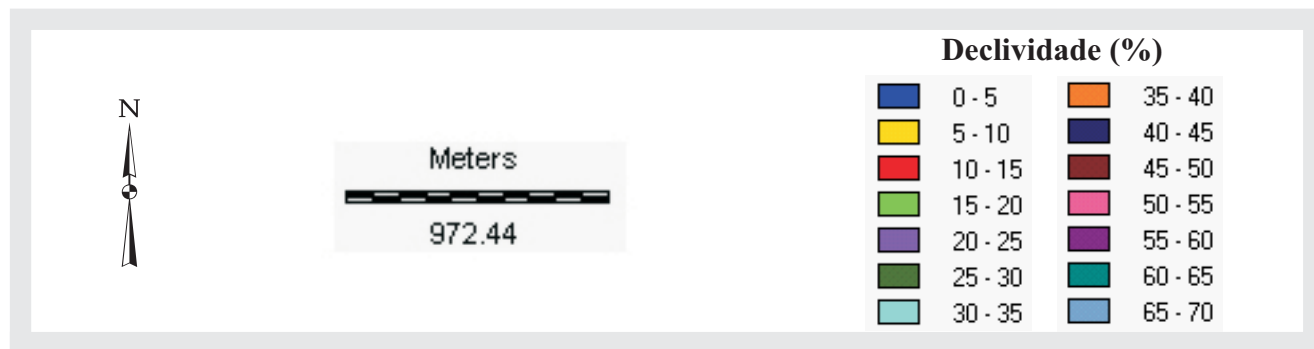


Figura D2 - Carta de inclinação dos terrenos - Bacia I - Sub-bacias





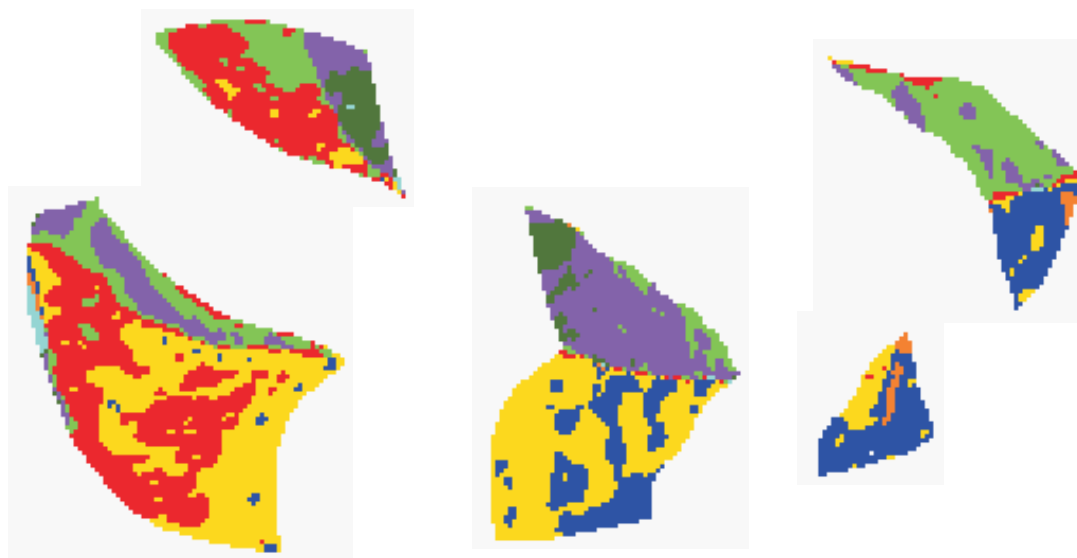


Figura D3 - Carta de orientação dos terrenos - Bacia II - Sub-bacias





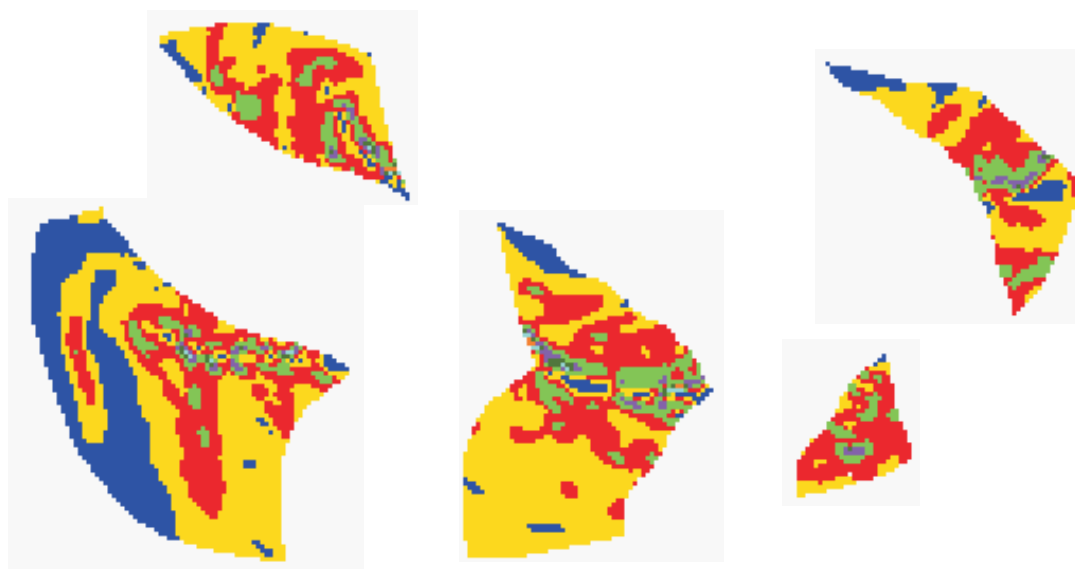
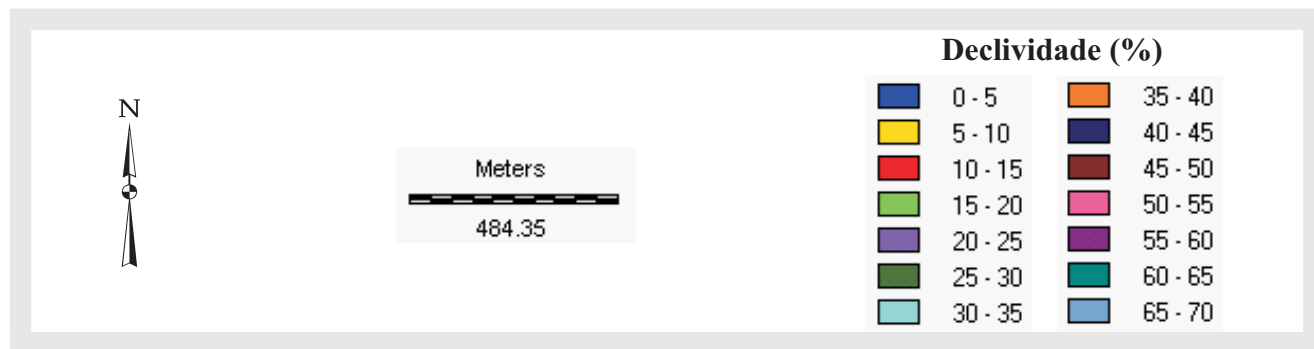


Figura D4 - Carta de inclinação dos terrenos - Bacia II - Sub-bacias

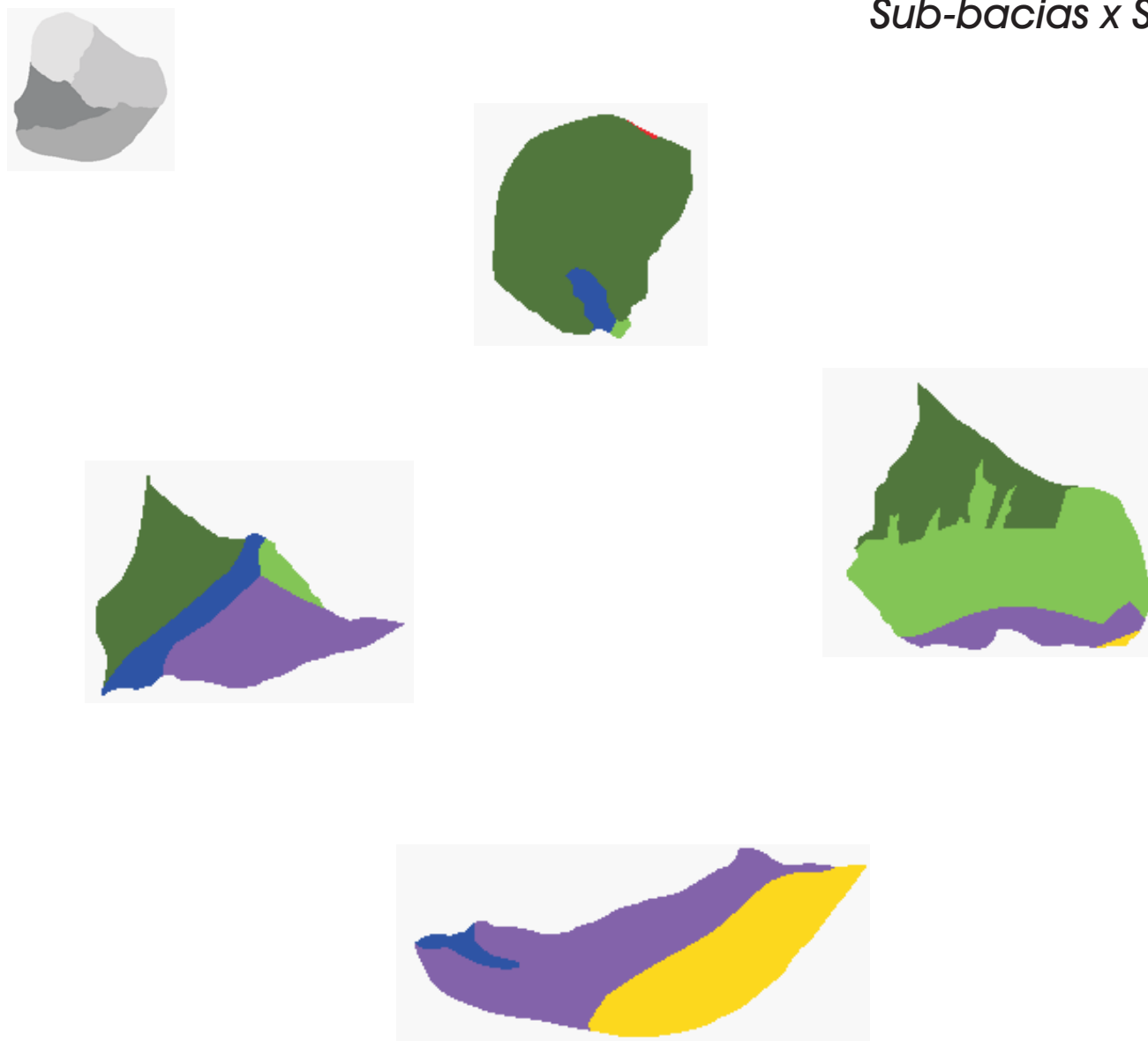




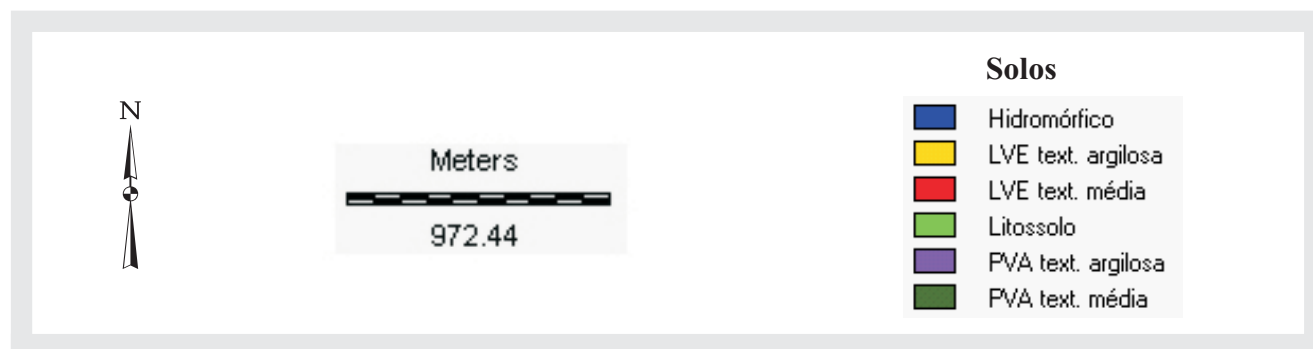


# *Sub-bacias Solo*





**Figura E1 - Carta de solos - Bacia I - Sub-bacias**





# *Sub-bacias*

## *Uso do solo*

---



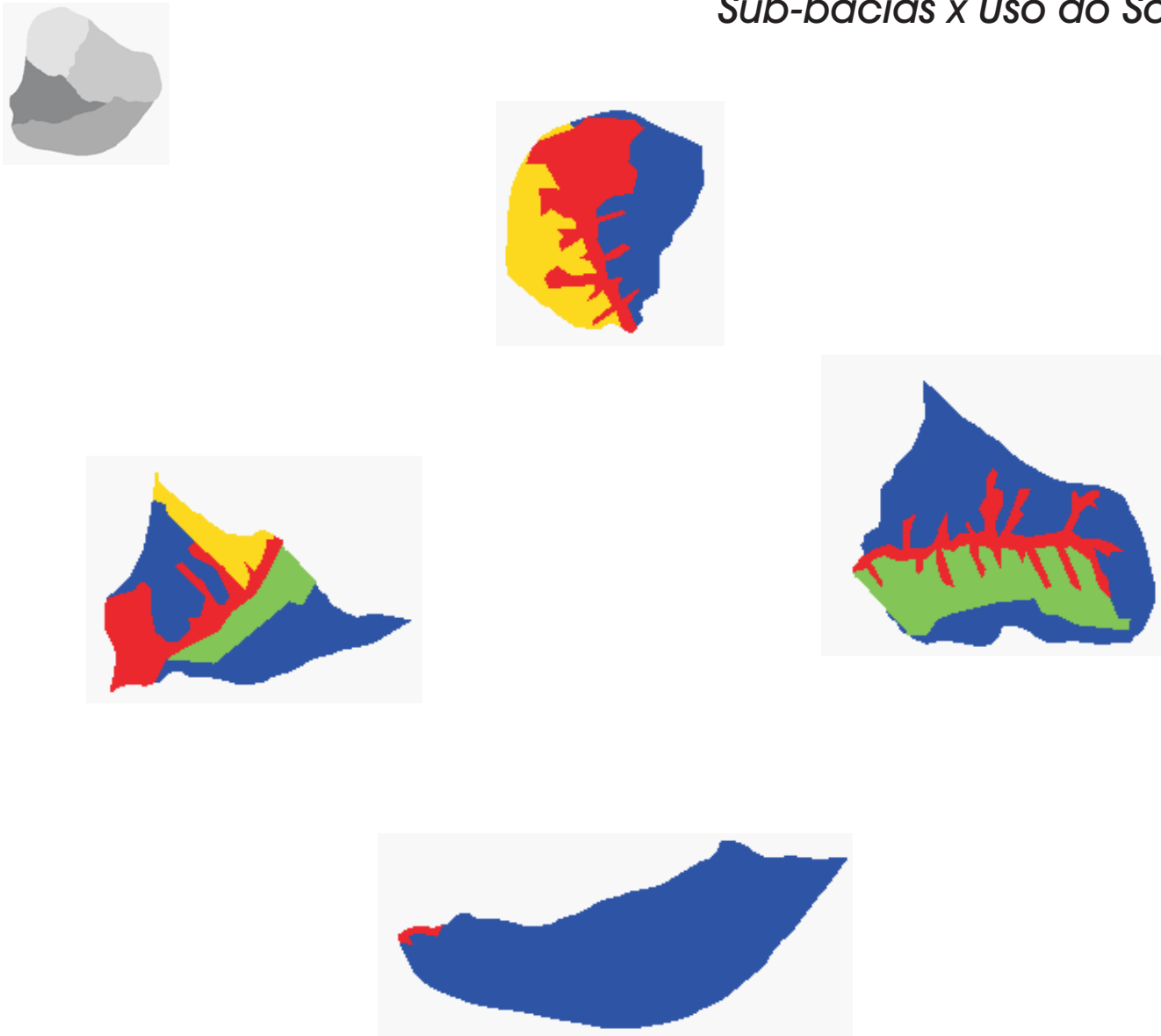


Figura F1 - Carta de uso do solo - Bacia I - 1978 - Sub-bacias







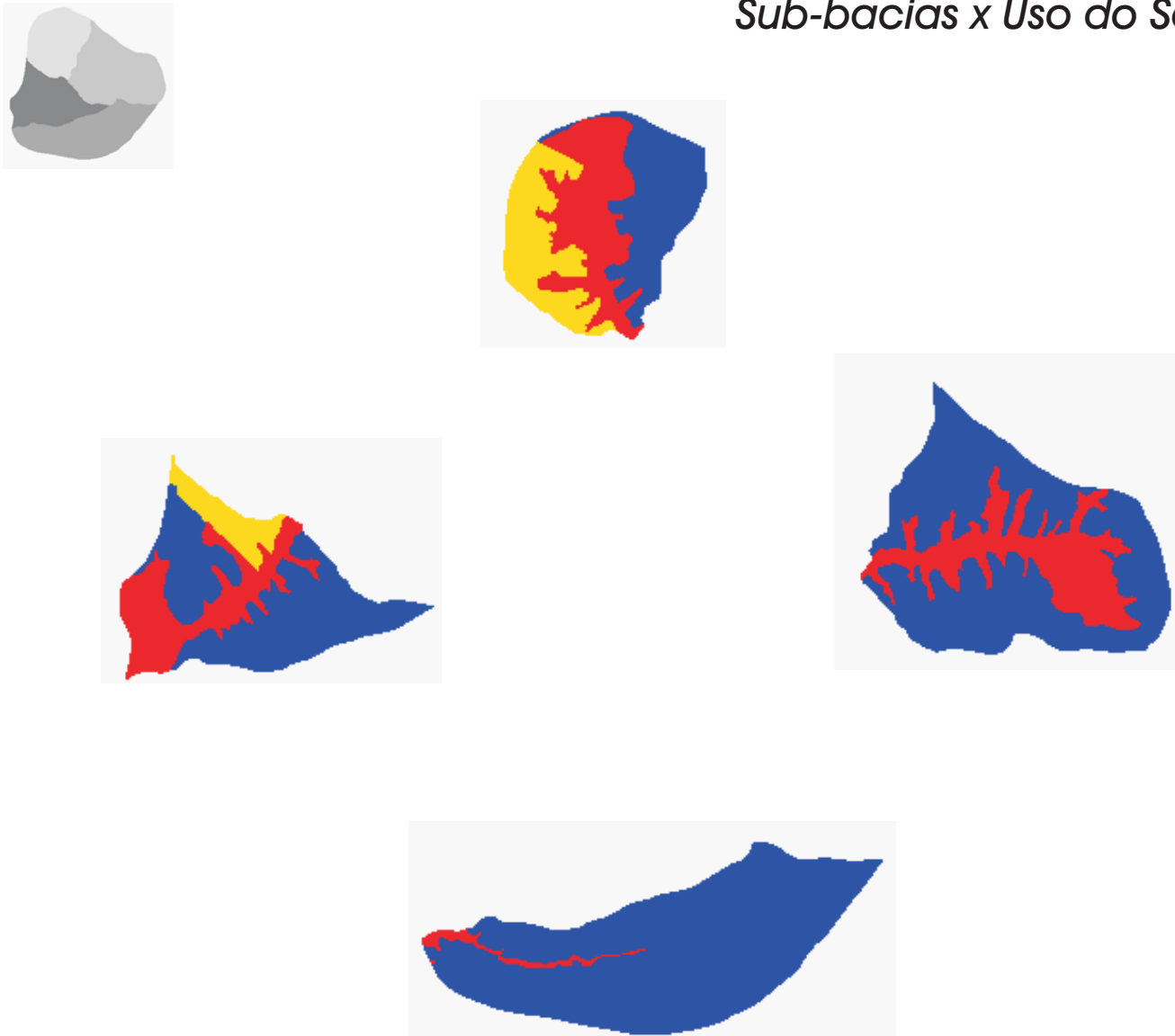


Figura F2 - Carta de uso do solo - Bacia I - 1988 - Sub-bacias





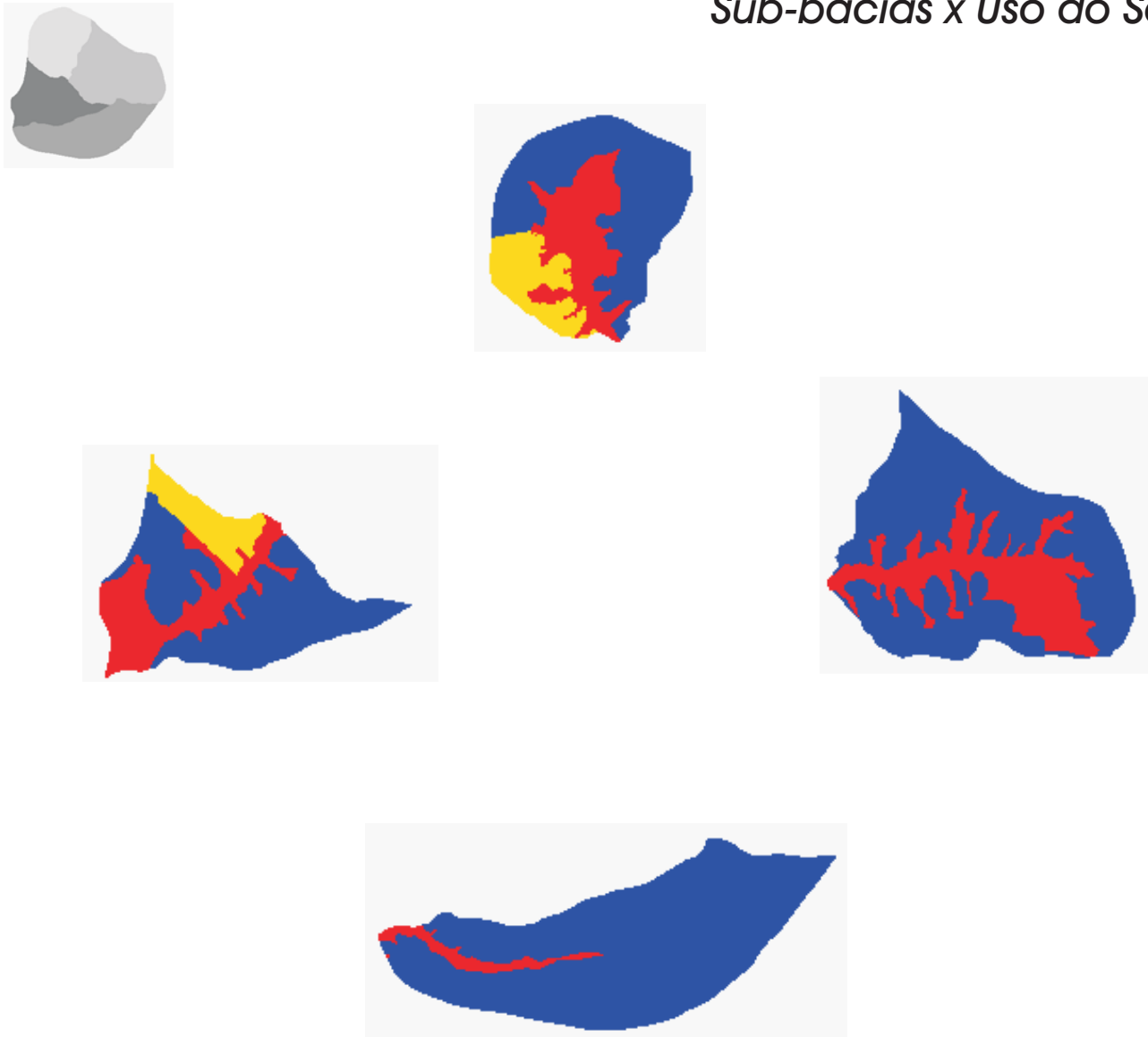
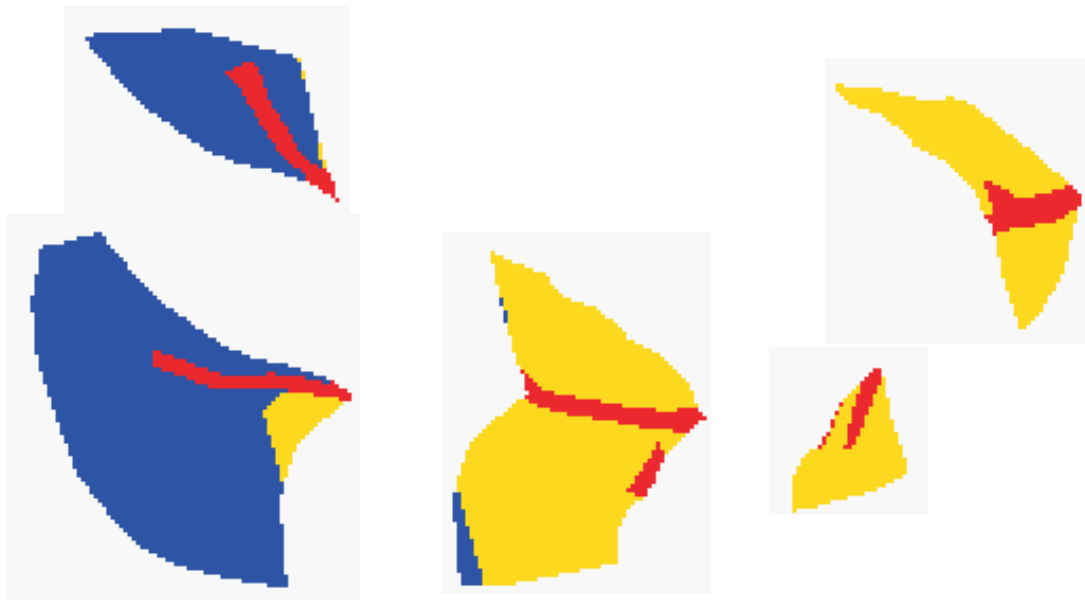


Figura F3 - Carta de uso do solo - Bacia I - 1998 - Sub-bacias







FiguraF4 - Carta de uso do solo - Bacia II - 1978 - Sub-bacias





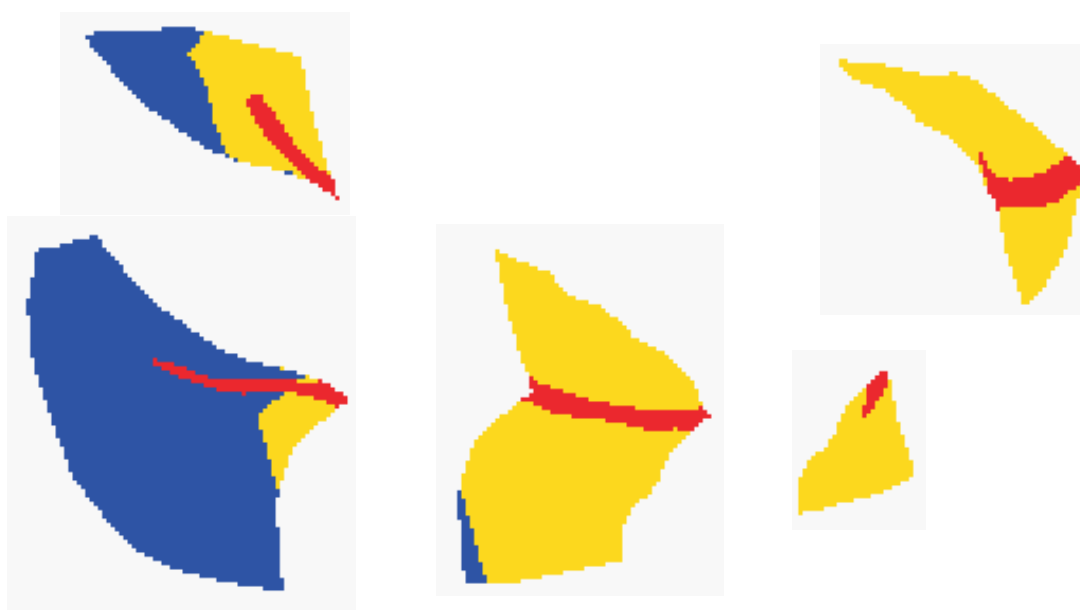


Figura F5 - Carta de uso do solo - Bacia II - 1988 - Sub-bacias







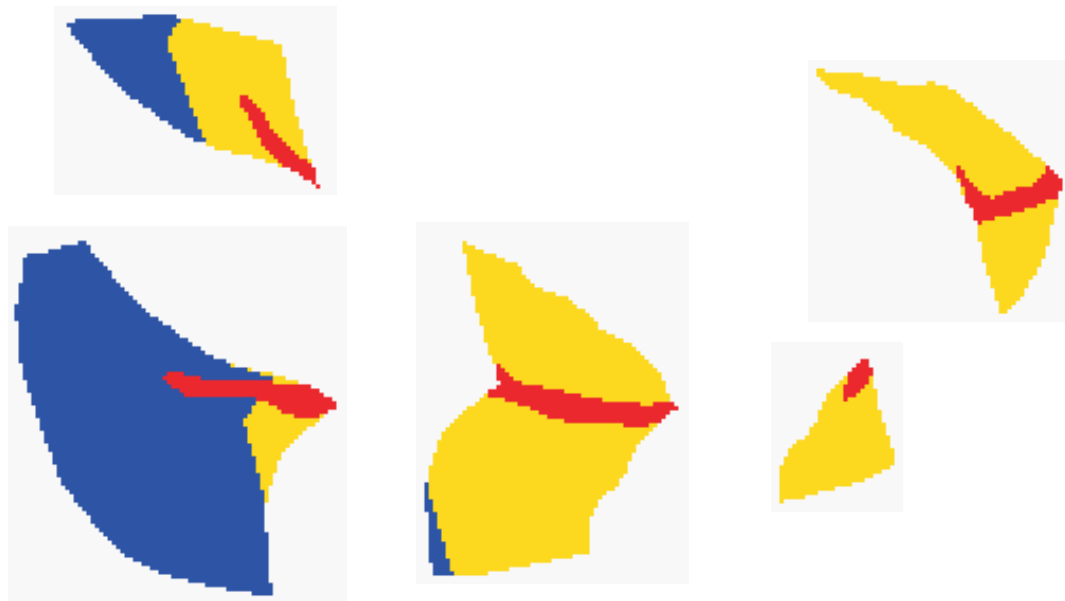


Figura F6 - Carta de uso do solo - Bacia II - 1998 - Sub-bacias





# *Vertentes Relevo*

---



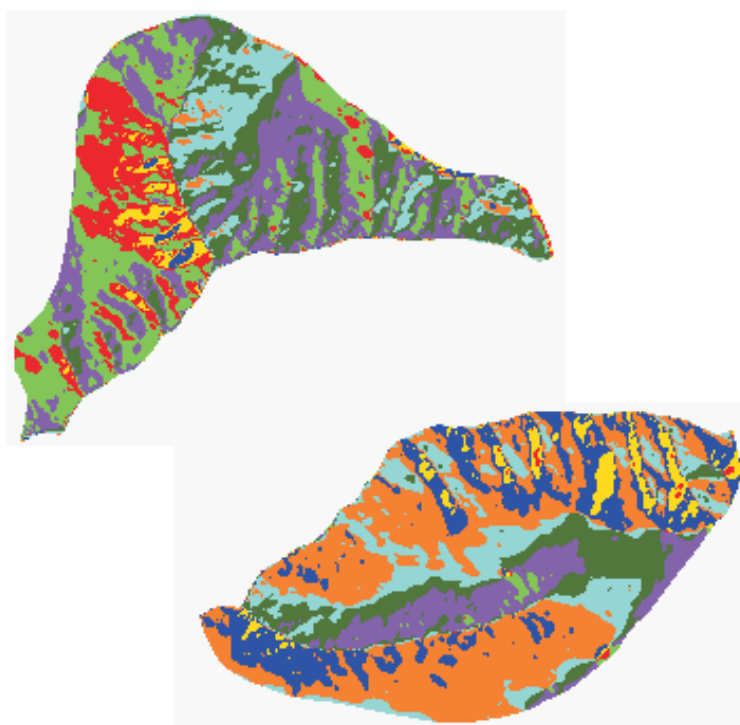


Figura G1 - Carta de orientação dos terrenos - Bacia I - Planos Vertentes





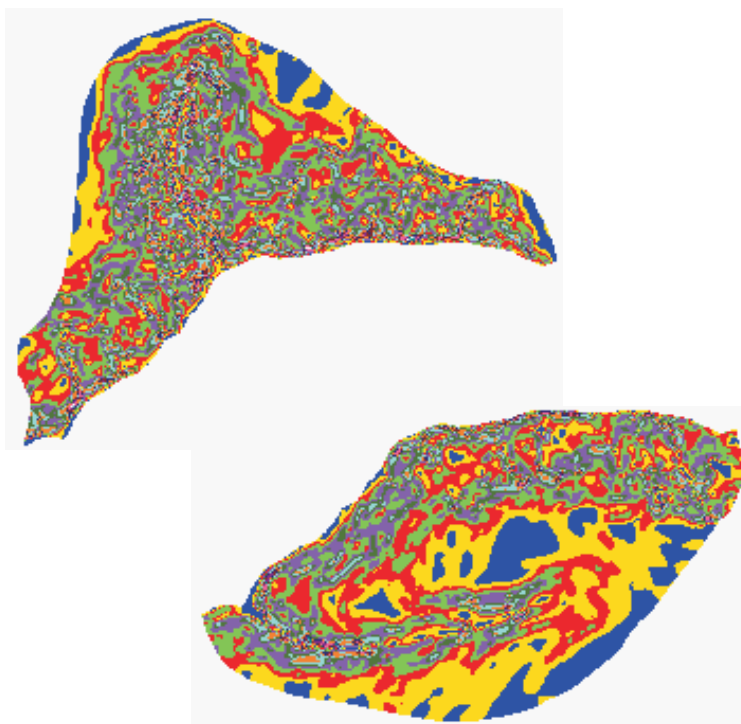


Figura G2 - Carta de inclinação dos terrenos - Bacia I - Planos Vertentes

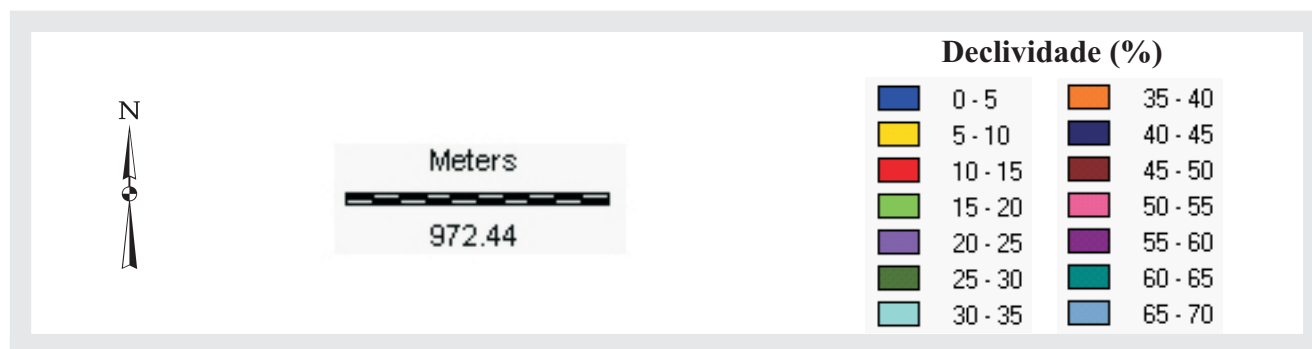
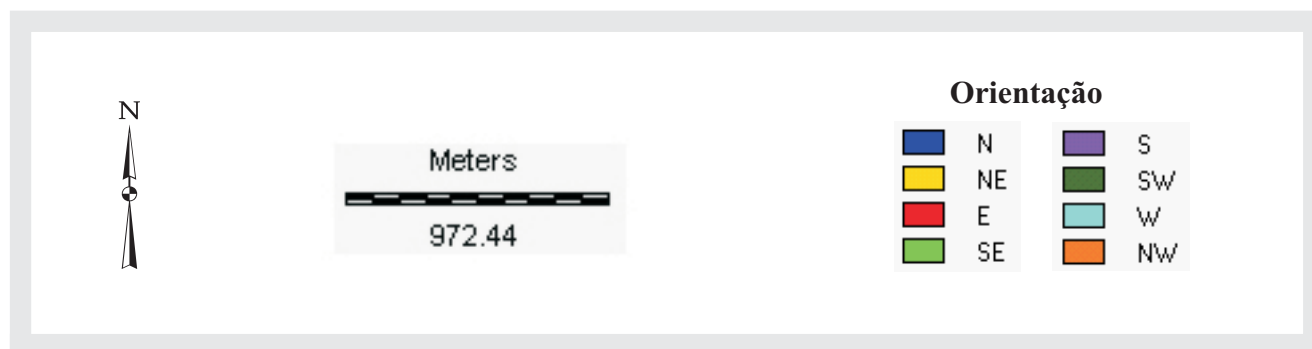








Figura G3 - Carta de orientação dos terrenos - Bacia I - Planos Vertentes





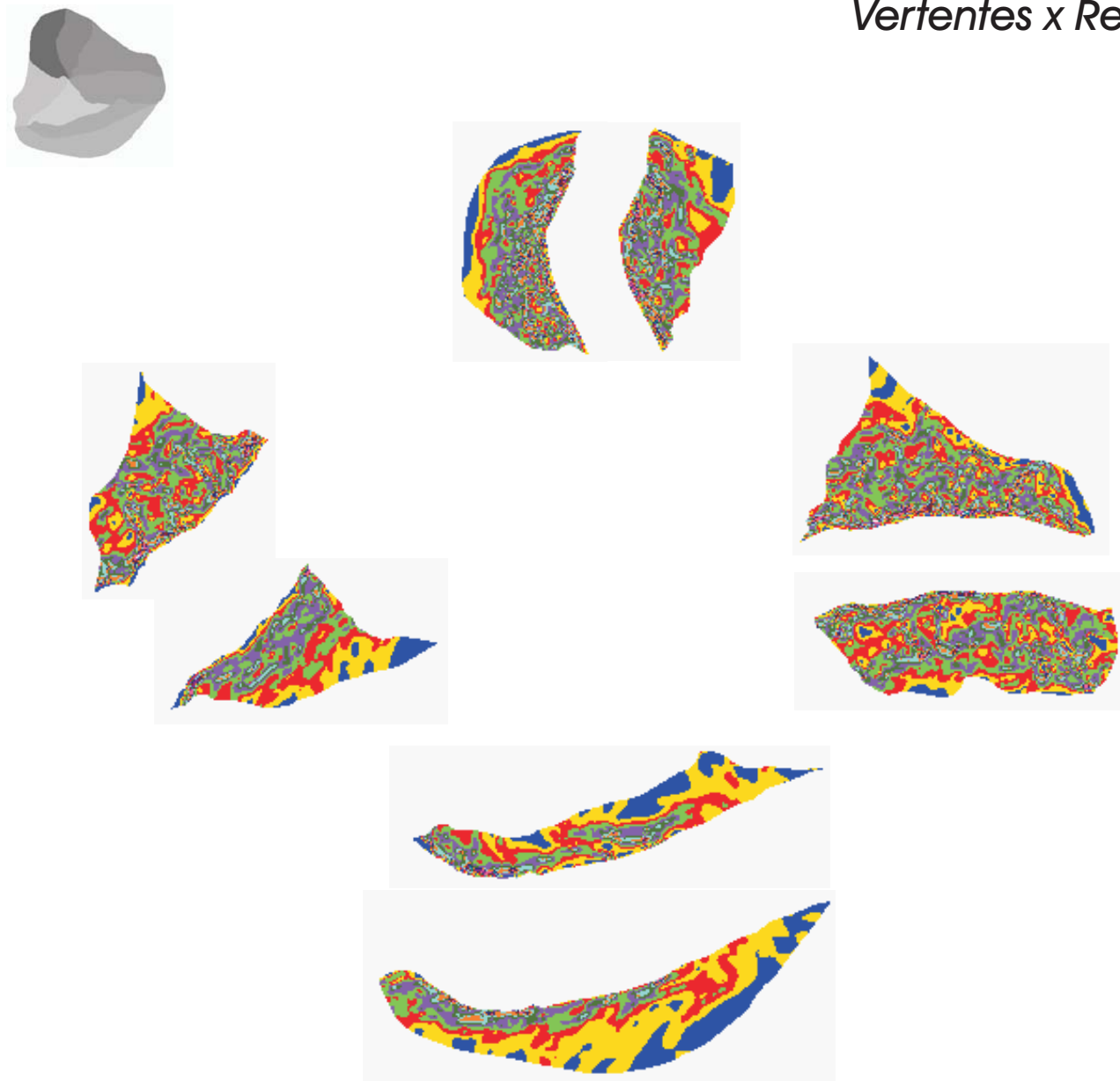
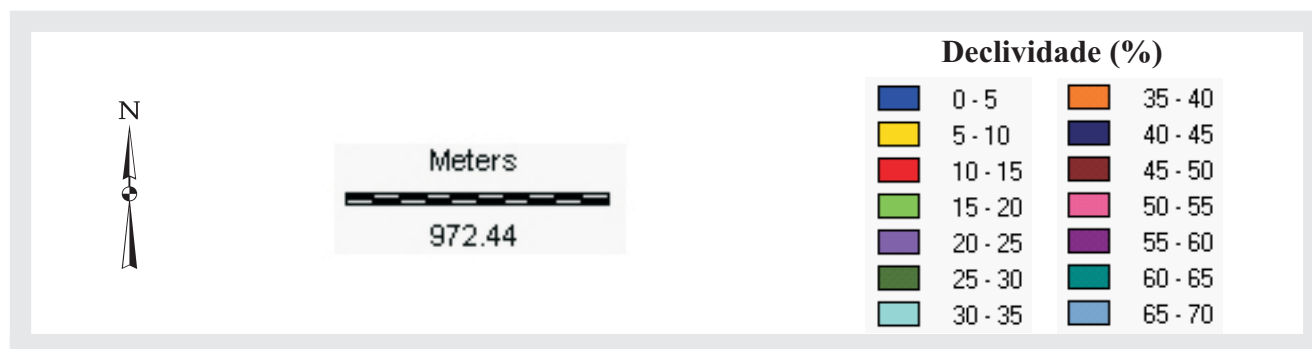


Figura G4 - Carta de inclinação dos terrenos - Bacia I - Planos Vertentes





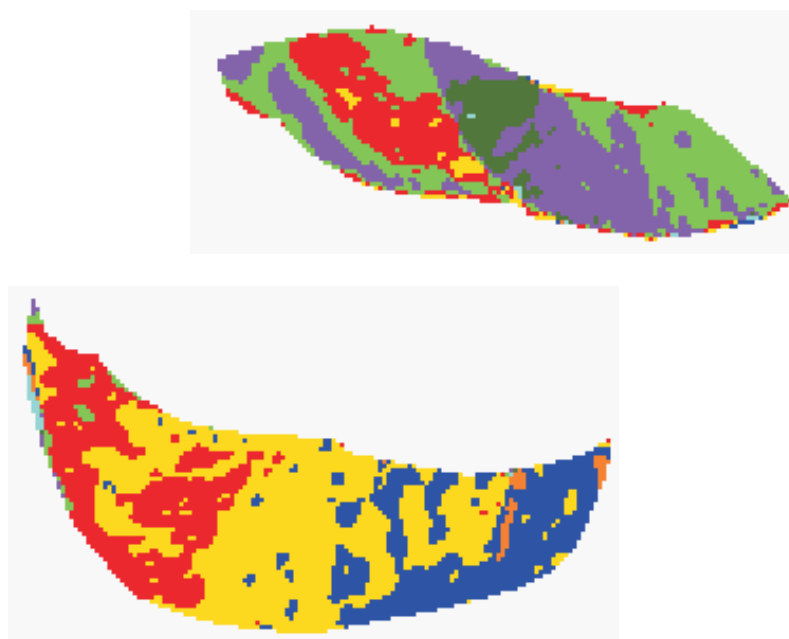
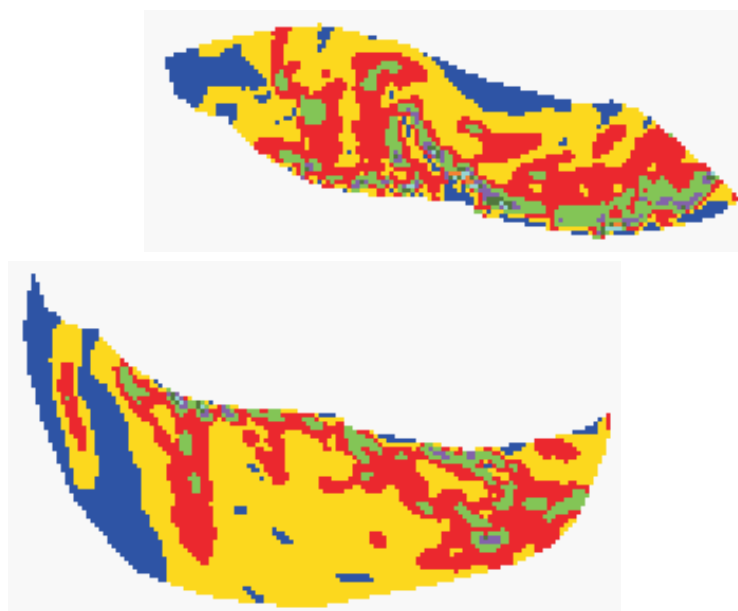


Figura G5 - Carta de orientação dos terrenos - Bacia II - Planos Vertentes







**Figura G6 - Carta de inclinação dos terrenos - Bacia II - Planos Vertentes**







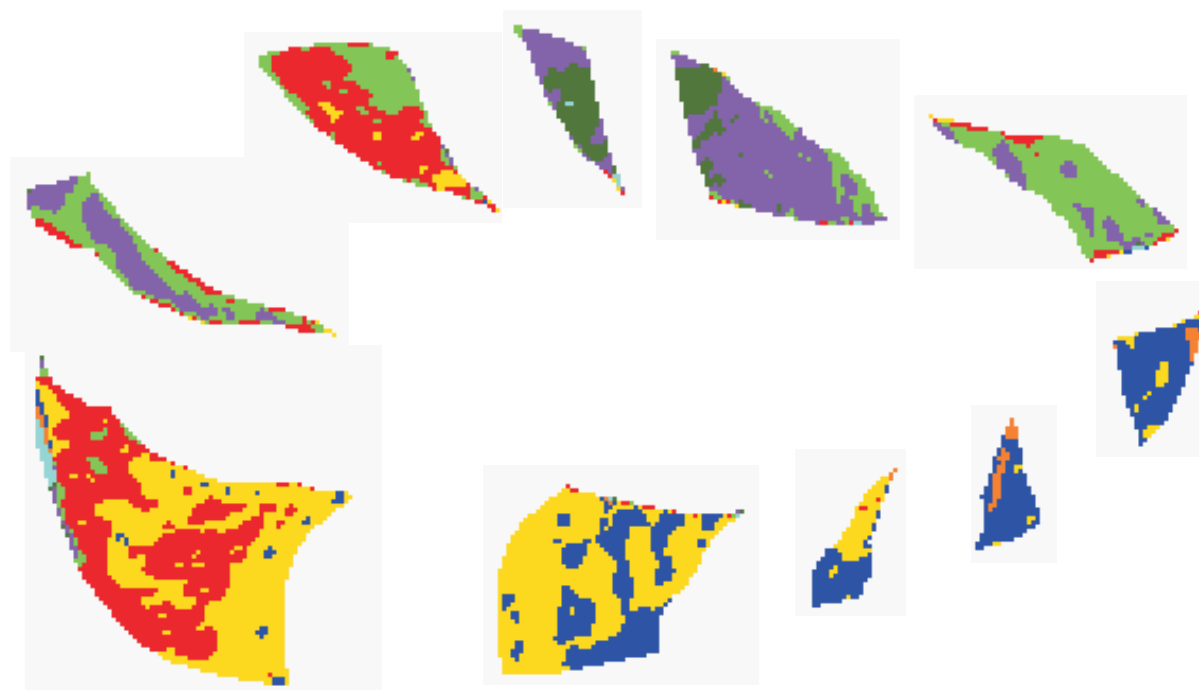


Figura G7 - Carta de orientação dos terrenos - Bacia II - Planos Vertentes





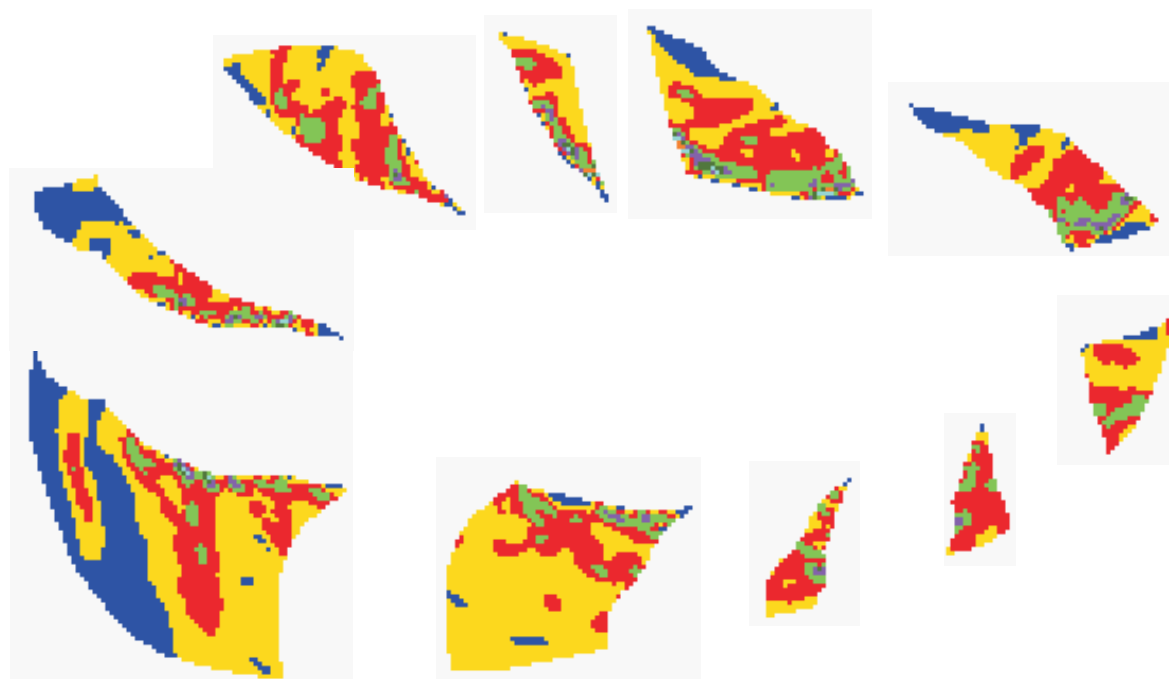


Figura G8 - Carta de inclinação dos terrenos - Bacia II - Planos Vertentes





# *Vertentes Solo*

---



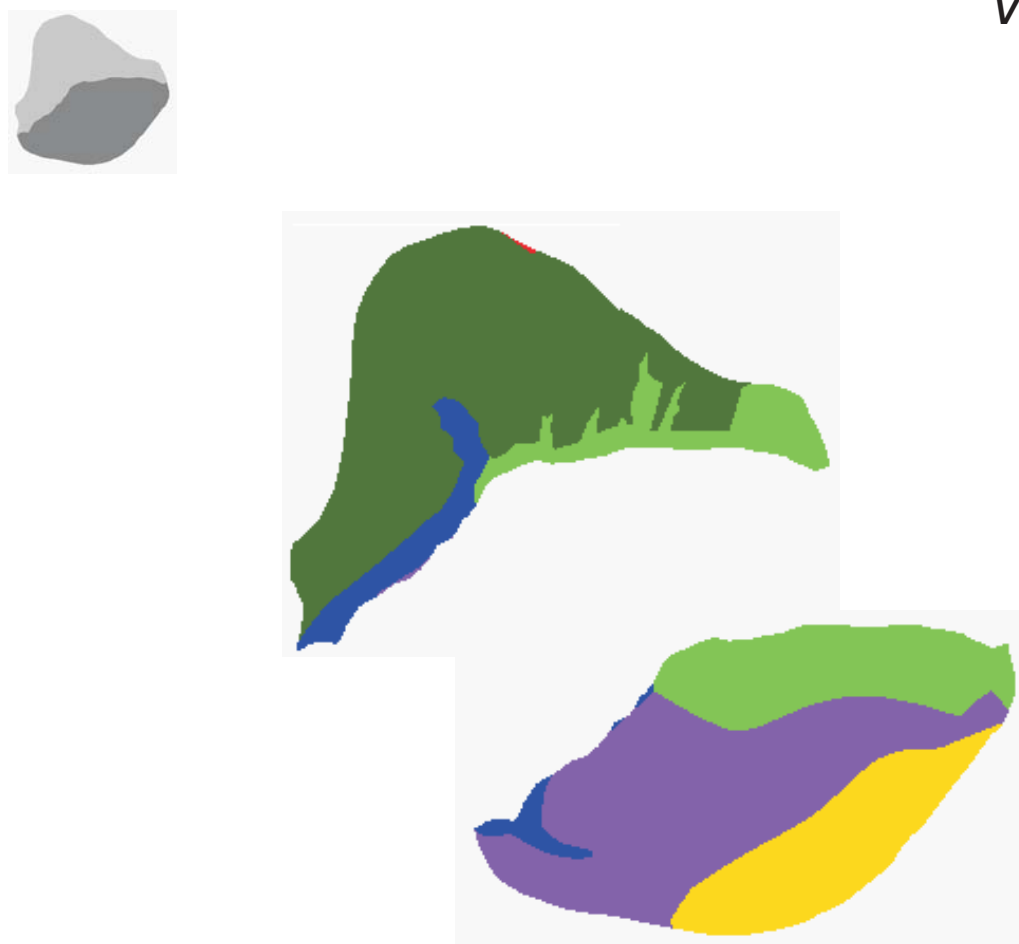


Figura H1 - Carta de solos - Bacia I - Planos Vertentes

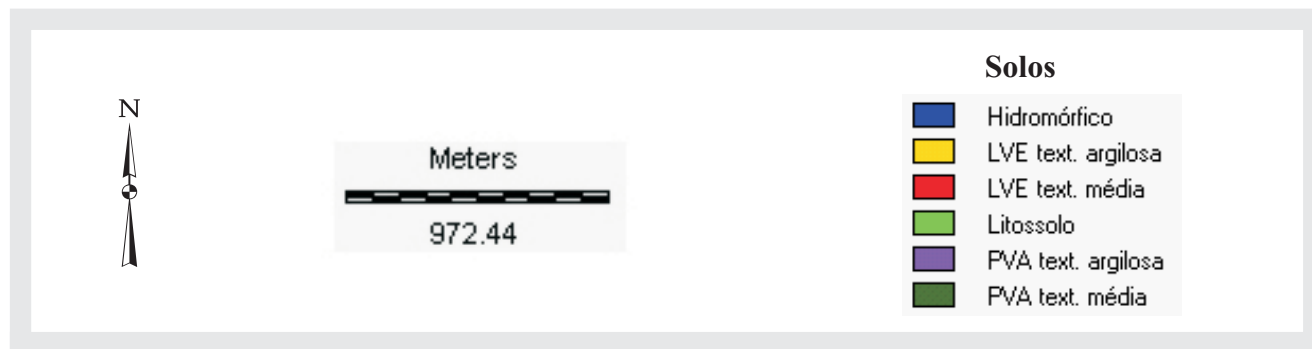
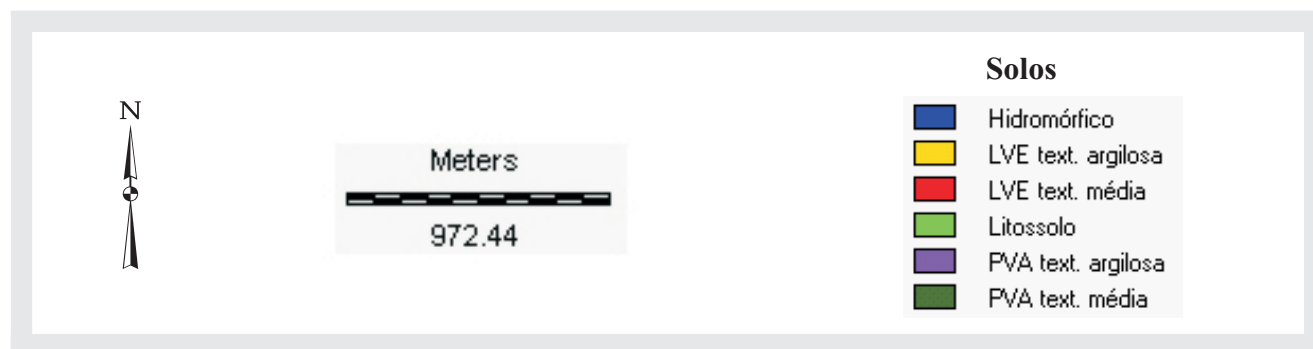








Figura H2 - Carta de solos - Bacia I - Planos Vertentes





# *Vertentes Uso do Solo*

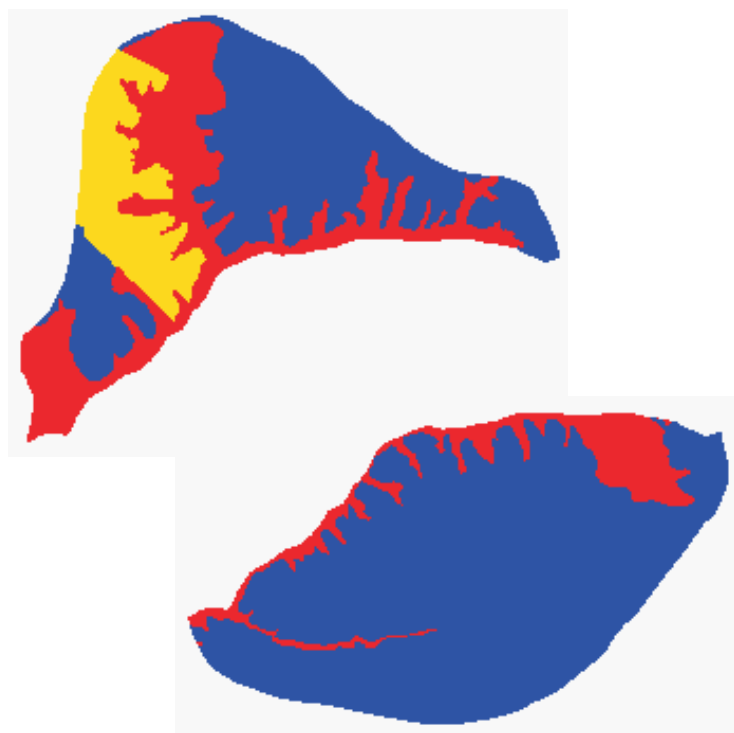




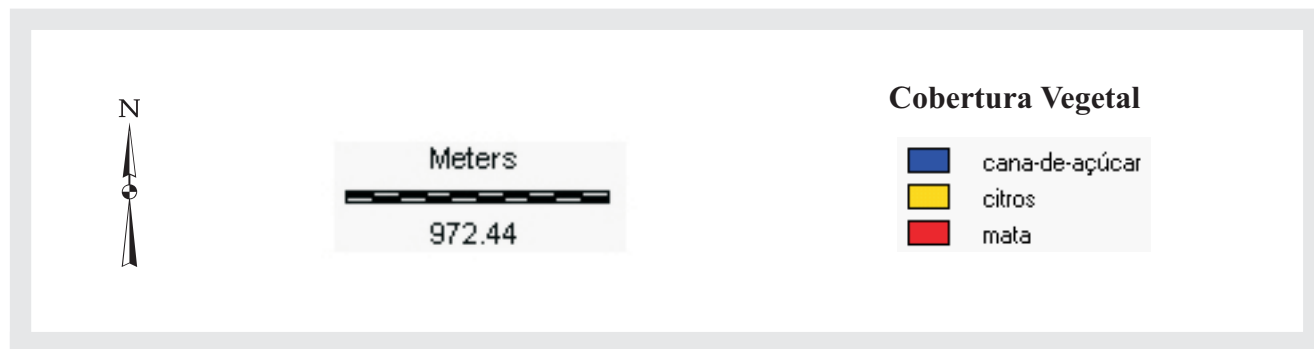
**Figura I1 - Carta de uso do solo - Bacia I - 1978 - Planos Vertentes**





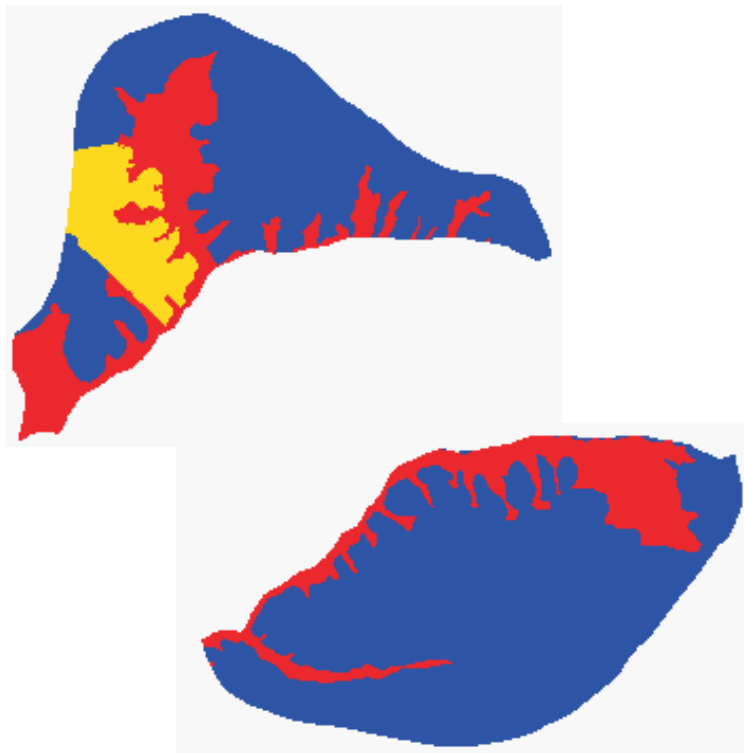


**Figura I2 - Carta de uso do solo - Bacia I - 1988 - Planos Vertentes**









**Figura I3 - Carta de uso do solo - Bacia I - 1998 - Planos Vertentes**





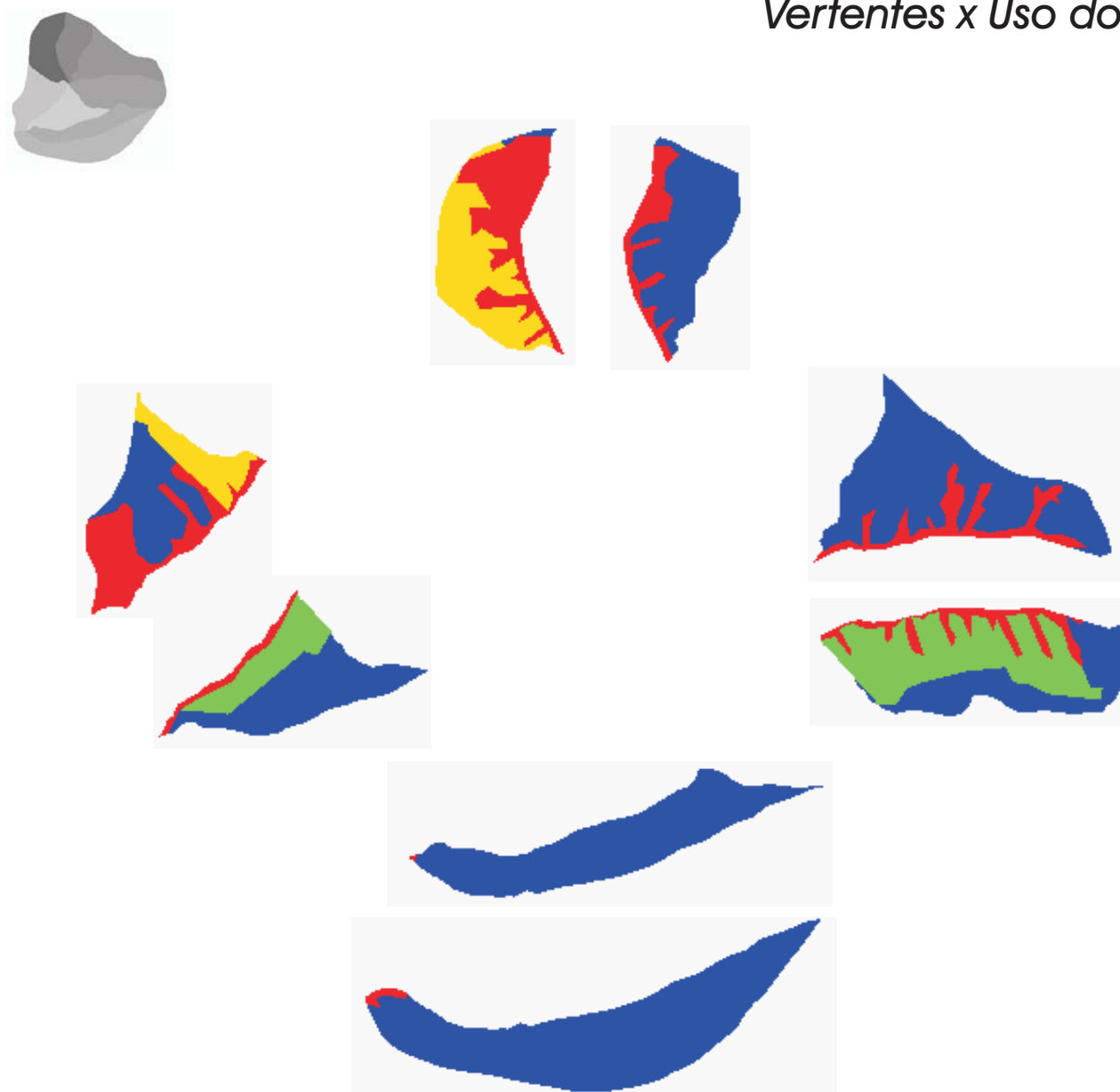
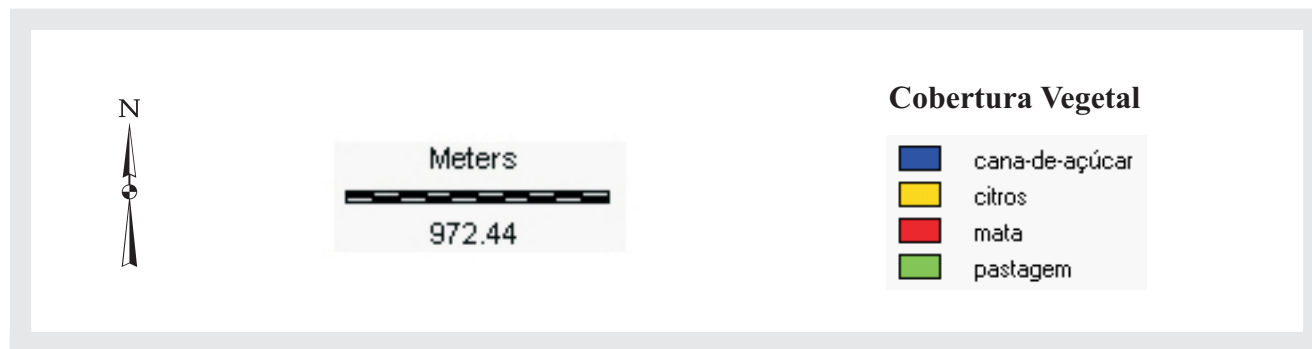


Figura I4 - Carta de uso do solo - Bacia I - 1978 - Planos Vertentes





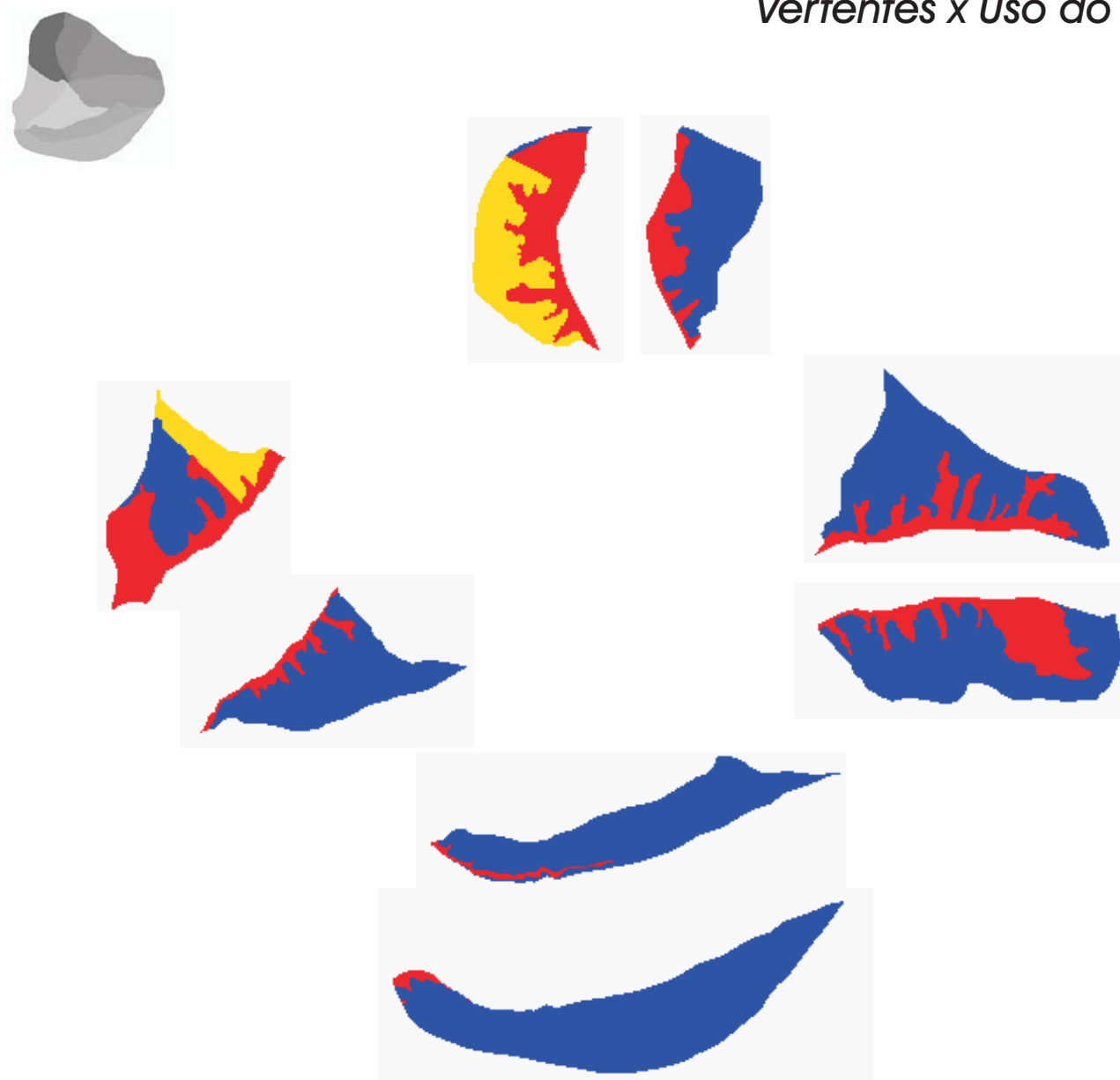


Figura I5 - Carta de uso do solo - Bacia I - 1988 - Planos Vertentes

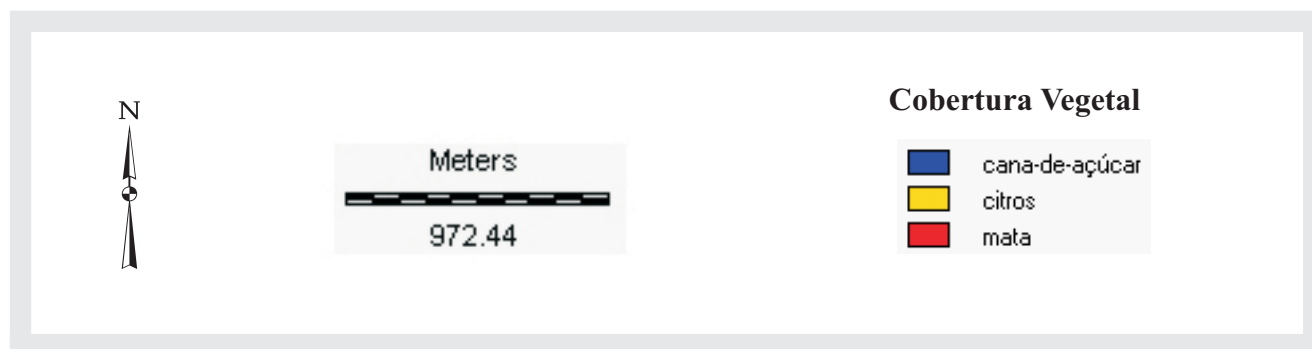




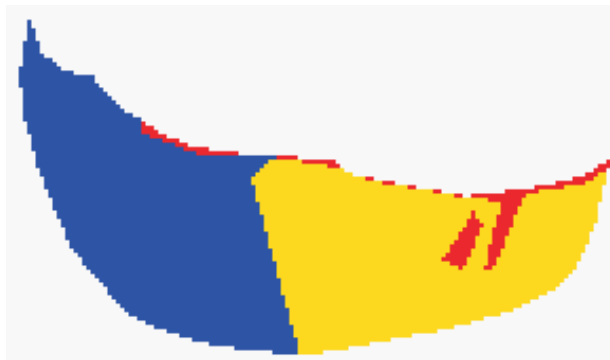


Figura I6 - Carta de uso do solo - Bacia I - 1998 - Planos Vertentes





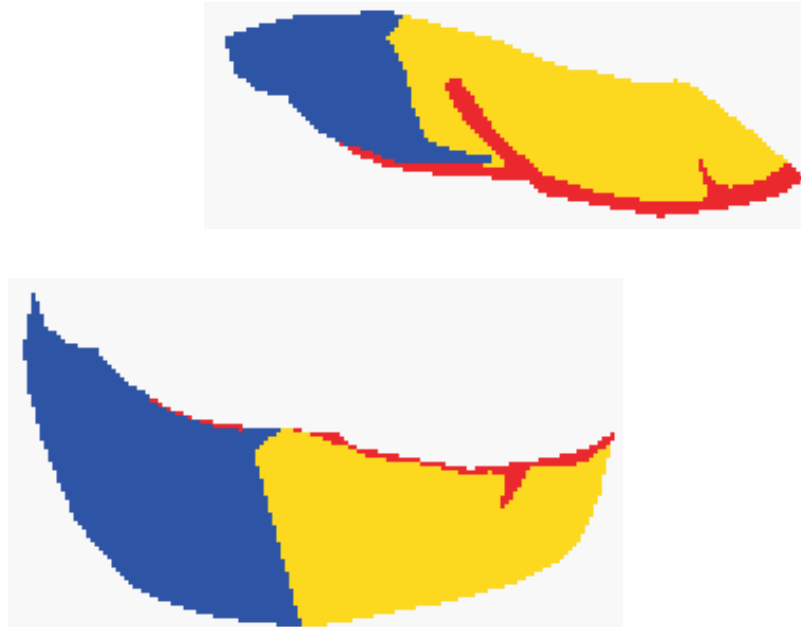




**Figura I7 - Carta de uso do solo - Bacia II - 1978 - Planos Vertentes**



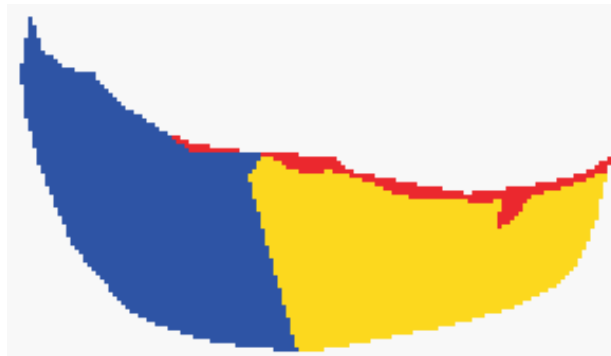




**Figura I8 - Carta de uso do solo - Bacia II - 1988 - Planos Vertentes**







**Figura I9 - Carta de uso do solo - Bacia II - 1998 - Planos Vertentes**





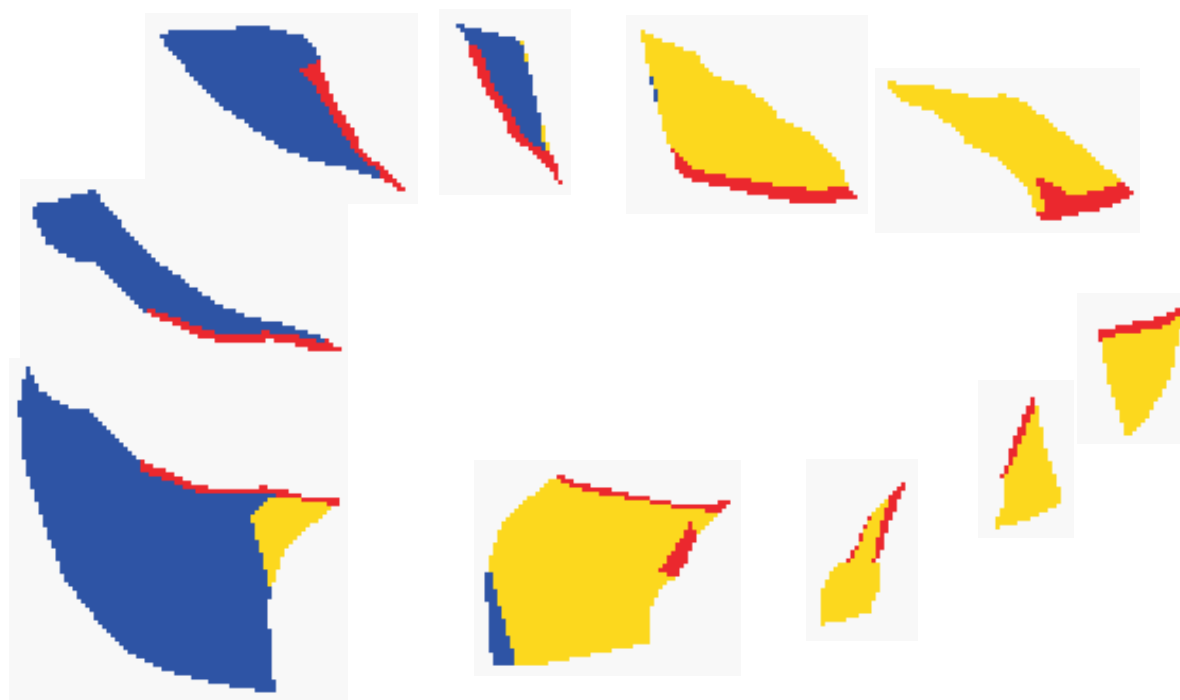


Figura I10 - Carta de uso do solo - Bacia II - 1978 - Planos Vertentes









Figura I11 - Carta de uso do solo - Bacia II - 1988 - Planos Vertentes





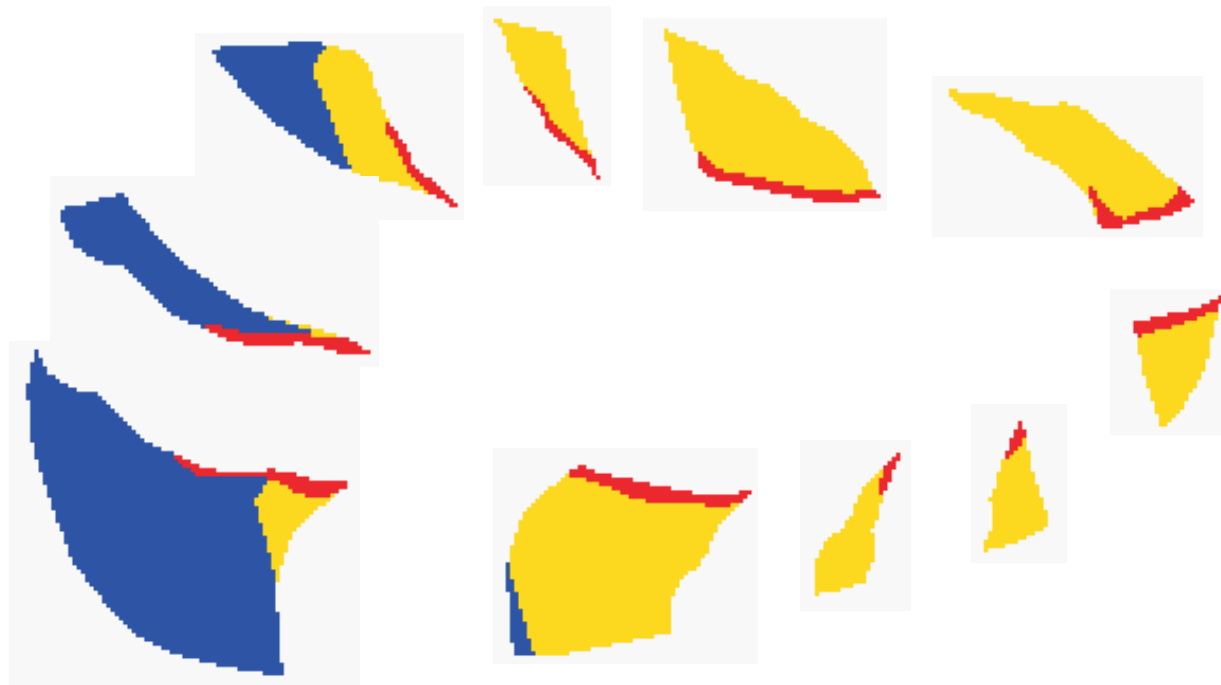
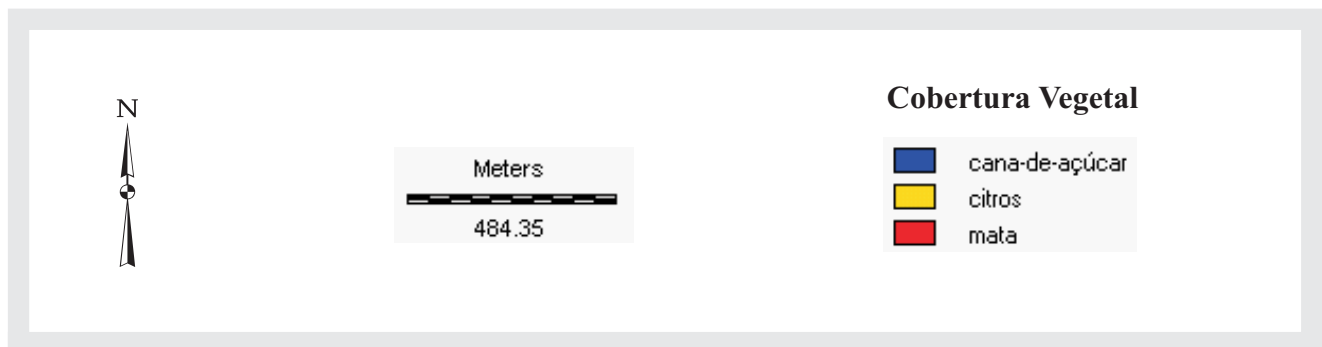


Figura I12 - Carta de uso do solo - Bacia II - 1998 - Planos Vertentes





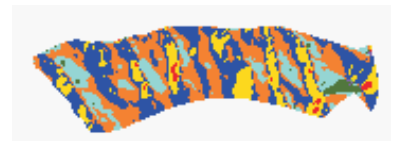
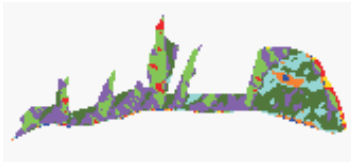
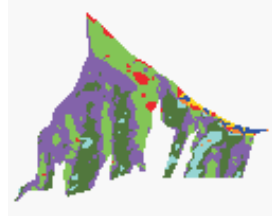
# *Vertentes I-1 e I-2*

## *Divisão por solo*

---



Vertentes I-2 e I-3 - Solo x Orientação



Meters



972.44

Orientação

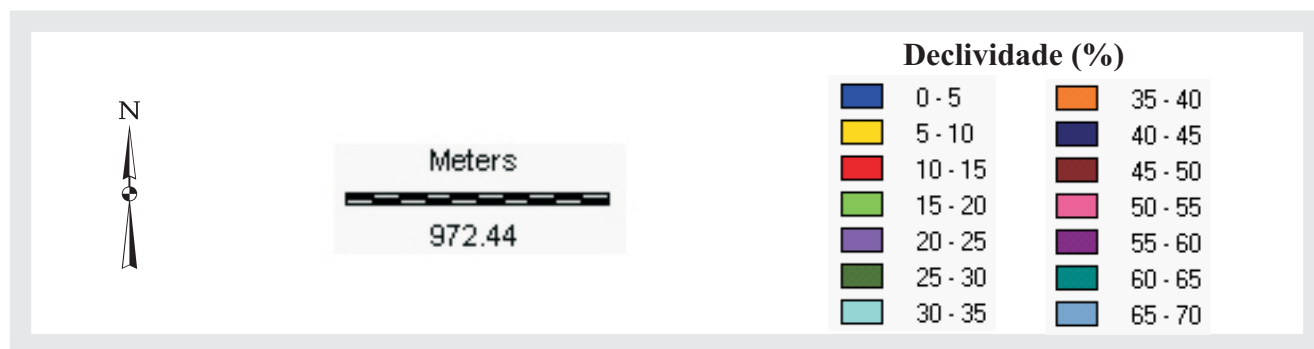




Vertentes I-2 e I-3 - Solo x Inclinação



Figura J2 - Carta de inclinação - Bacia I - vertentes x solo





Vertentes I-2 e I-3 - Solo x Uso do solo

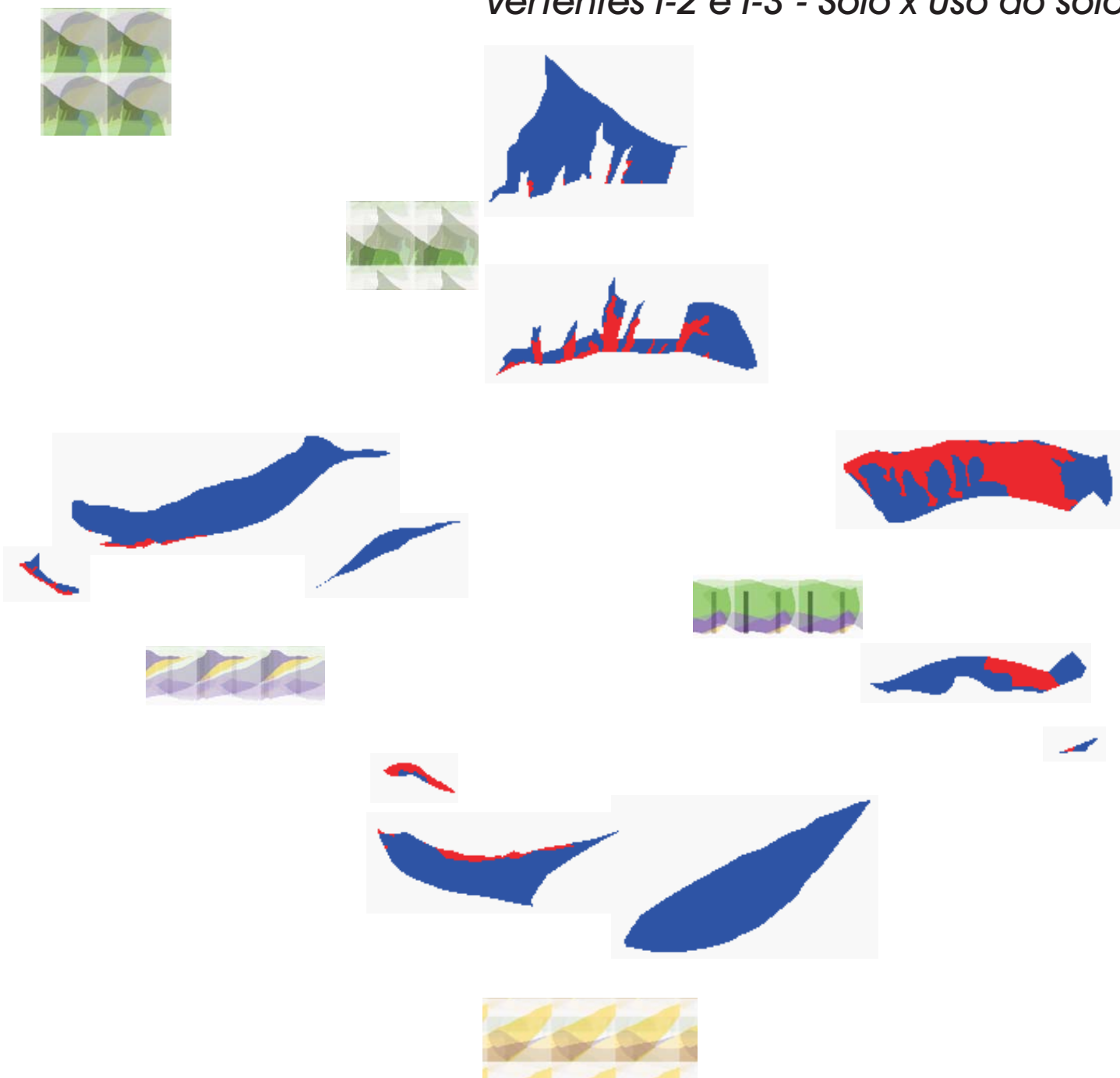


Figura J3 - Carta de uso do solo - Bacia I - vertentes x solo





# *Histogramas*

---



**Quadro L1 - Distribuição de frequências de altitude - Região**

<b>Classes de Altitudes (m)</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
505 – 515	3973	1.09	3973
515 – 525	16654	4.57	20627
525 – 535	24387	6.69	45014
535 – 545	29550	8.10	74564
545 – 555	36133	9.91	110697
555 – 565	45323	12.43	156020
565 – 575	48298	13.24	204318
575 – 585	48944	13.42	253262
585 – 595	54511	14.95	307773
595 – 605	35686	9.79	343459
605 – 615	17166	4.71	360625
615 – 625	4058	1.11	364683

**Quadro L2 - Distribuição de frequências de orientação - Região**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
Norte	37386	10.25	37386
Nordeste	48249	13.23	85635
Leste	48635	13.34	134270
Sudeste	44943	12.32	179213
Sul	42478	11.65	221691
Sudoeste	36349	9.97	258040
Oeste	53188	14.58	311228
Noroeste	53454	14.66	364682

**Quadro L3 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia I**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
Norte	7048	9.23	7048
Nordeste	4250	5.57	11298
Leste	6284	8.23	17582
Sudeste	10853	14.22	28435
Sul	11861	15.54	40296
Sudoeste	10040	13.15	50336
Oeste	12038	15.77	62384
Noroeste	13968	18.30	76342

**Quadro L4 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia II**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Norte	2910	17.73	2910
Nordeste	5019	30.57	7929
Leste	2449	14.92	10378
Sudeste	2283	13.91	12661
Sul	1563	9.52	14224
Sudoeste	904	5.51	15128
Oeste	1008	6.14	16136
Noroeste	279	1.70	16415

**Quadro L5 - Distribuição de freqüências de inclinação - Região**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
0 – 5	88382	24.24	88382
5 – 10	134842	36.98	223224
10 – 15	77791	21.33	301015
15 – 20	36193	9.92	337208
20 – 25	15058	4.13	352266
25 – 30	7060	1.94	359326
30 – 35	2626	0.72	361952
35 – 40	1616	0.44	363568
40 – 45	598	0.16	364166
45 – 50	244	0.07	364410
50 – 55	159	0.04	364569
55 – 60	48	0.01	364617
60 – 65	21	0.01	364638
65 – 70	32	0.01	364670

**Quadro L6 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia I**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
0 – 5	9080	11.89	9080
5 – 10	18395	24.10	27475
10 – 15	15722	20.59	43197
15 – 20	12557	16.45	55754
20 – 25	9260	12.13	65014
25 – 30	5239	6.86	70253
30 – 35	2754	3.61	73007
35 – 40	1757	2.30	74764
40 – 45	676	0.89	75440
45 – 50	378	0.50	75818
50 – 55	302	0.40	76120
55 – 60	126	0.17	76246
60 – 65	65	0.09	76311
65 – 70	31	0.04	76342



**Quadro L7 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia II**

Classes de Inclinação (%)	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
0 – 5	3810	23.21	3810
5 – 10	7471	45.51	11281
10 – 15	3902	23.77	15183
15 – 20	971	5.91	16154
20 – 25	176	1.07	16330
25 – 30	54	0.33	16384
30 – 35	21	0.13	16405
35 – 40	11	0.07	16416

**Quadro L8 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-1**

Classes de Orientação	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Norte	130	1.40	130
Nordeste	448	4.84	578
Leste	1979	21.38	2557
Sudeste	1611	17.40	4168
Sul	1509	16.30	5677
Sudoeste	1769	19.11	7446
Oeste	1609	17.38	9055
Noroeste	201	2.17	9256

**Quadro L9 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-2**

Classes de Orientação	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Norte	2784	19.48	2784
Nordeste	1061	7.42	3845
Leste	293	2.05	4138
Sudeste	1626	11.38	5764
Sul	2435	17.04	8199
Sudoeste	1978	13.84	10177
Oeste	1483	10.38	11660
Noroeste	2632	18.42	14292

**Quadro L10 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-3**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
Norte	1668	12.94	1668
Nordeste	106	0.82	1774
Leste	25	0.19	1799
Sudeste	191	1.48	1990
Sul	2243	17.40	4233
Sudoeste	2675	20.75	6908
Oeste	1606	12.46	8514
Noroeste	4380	33.97	12894

**Quadro L11 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-4**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
Norte	318	3.38	318
Nordeste	84	0.89	402
Leste	802	8.53	1204
Sudeste	2399	25.50	3603
Sul	1435	15.25	5038
Sudoeste	333	3.54	5371
Oeste	1385	14.72	6756
Noroeste	2651	28.18	9407

**Quadro L12 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia II - sub-bacia I-1**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
Norte	344	68.52	344
Nordeste	114	22.71	458
Leste	3	0.60	461
Sudeste	0	0	461
Sul	0	0	461
Sudoeste	0	0	461
Oeste	0	0	461
Noroeste	41	8.17	502

**Quadro L13 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia II - sub-bacia I-2**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Norte	309	28.24	309
Nordeste	47	4.30	356
Leste	46	4.21	402
Sudeste	540	49.36	942
Sul	128	11.70	1070
Sudoeste	1	0.09	1071
Oeste	3	0.27	1074
Noroeste	20	1.83	1094

**Quadro L14 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia II - sub-bacia I-3**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Norte	553	20.73	553
Nordeste	1097	41.13	1650
Leste	17	0.64	1667
Sudeste	122	4.57	1789
Sul	714	26.77	2503
Sudoeste	157	5.89	2660
Oeste	4	0.15	2664
Noroeste	3	0.12	2667

**Quadro L15 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia II - sub-bacia I-4**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Norte	1	0.08	1
Nordeste	55	4.27	56
Leste	602	46.78	658
Sudeste	289	22.45	947
Sul	154	11.96	1101
Sudoeste	180	13.99	1281
Oeste	6	0.47	1287
Noroeste	0	0	1287

**Quadro L16 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia II - sub-bacia I-5**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Norte	52	1.52	52
Nordeste	1349	39.17	1401
Leste	1304	37.86	2705
Sudeste	380	11.03	3085
Sul	308	8.94	3393
Sudoeste	6	0.17	3399
Oeste	34	0.99	3433
Noroeste	11	0.32	3444

**Quadro L17 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia I - vertente direita**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
Norte	233	1.10	233
Nordeste	594	2.80	827
Leste	3006	14.16	3833
Sudeste	5619	26.47	9452
Sul	5360	25.25	14812
Sudoeste	3912	18.43	18724
Oeste	2186	10.30	20910
Noroeste	316	1.49	21226

**Quadro L18 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia I - vertente esquerda**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
Norte	4665	18.97	4665
Nordeste	1103	4.49	5768
Leste	91	0.37	5859
Sudeste	206	0.84	6065
Sul	2258	9.18	8323
Sudoeste	2843	11.56	11166
Oeste	3884	15.79	15050
Noroeste	9541	38.80	24591

**Quadro L19 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia II - vertente direita**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
Norte	1229	23,84	1229
Nordeste	2547	49,41	3776
Leste	1208	23,43	4984
Sudeste	61	1,18	5045
Sul	14	0,27	5059
Sudoeste	2	0,04	5061
Oeste	22	0,43	5083
Noroeste	72	1,40	5155

**Quadro L20 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia II - vertente esquerda**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
Norte	11	0.29	11
Nordeste	94	2.49	105
Leste	749	19.85	854
Sudeste	1281	33.94	2135
Sul	1288	34.13	3423
Sudoeste	337	8.93	3760
Oeste	12	0.32	3772
Noroeste	2	0.05	3774

**Quadro L21 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-1 - vertente direita**

Classes de Orientação	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Norte	128	2.54	128
Nordeste	447	8.88	575
Leste	1978	39.28	2553
Sudeste	1603	31.83	4156
Sul	757	15.03	4913
Sudoeste	66	1.31	4979
Oeste	47	0.93	5026
Noroeste	10	0.20	5036

**Quadro L22 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-1 - vertente esquerda**

Classes de Orientação	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Norte	2	0.05	2
Nordeste	1	0.02	3
Leste	1	0.02	4
Sudeste	8	0.19	12
Sul	752	17.82	764
Sudoeste	1703	40.36	2467
Oeste	1562	37.01	4029
Noroeste	191	4.53	4220

**Quadro L23 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-2 - vertente direita**

Classes de Orientação	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Norte	92	1.32	92
Nordeste	70	1.00	162
Leste	232	3.33	394
Sudeste	1624	23.29	2018
Sul	2427	34.81	4445
Sudoeste	1863	26.72	6308
Oeste	548	7.86	6856
Noroeste	117	1.68	6973

**Quadro L24 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-2 - vertente esquerda**

Classes de Orientação	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Norte	2692	36.78	2692
Nordeste	991	13.54	3683
Leste	61	0.83	3744
Sudeste	2	0.03	3746
Sul	8	0.11	3754
Sudoeste	115	1.57	3869
Oeste	935	12.77	4804
Noroeste	2515	34.36	7319

**Quadro L25 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-3 - vertente direita**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Norte	89	1.80	89
Nordeste	18	0.36	107
Leste	10	0.20	117
Sudeste	152	3.08	269
Sul	1796	36.36	2065
Sudoeste	2065	41.81	4130
Oeste	640	12.96	4770
Noroeste	169	3.42	4939

**Quadro L26 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-3 - vertente esquerda**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Norte	1579	19.85	1579
Nordeste	88	1.11	1667
Leste	15	0.19	1682
Sudeste	39	0.49	1721
Sul	447	5.62	2168
Sudoeste	610	7.67	2778
Oeste	966	12.14	3744
Noroeste	4211	52.94	7955

**Quadro L27 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-4 - vertente direita**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Norte	23	0.46	23
Nordeste	79	1.57	102
Leste	797	15.79	899
Sudeste	2389	47.34	3288
Sul	1429	28.31	4717
Sudoeste	280	5.55	4997
Oeste	36	0.71	5033
Noroeste	14	0.28	5047

**Quadro L28 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-4 - vertente esquerda**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Norte	295	6.77	295
Nordeste	5	0.11	300
Leste	5	0.11	305
Sudeste	10	0.23	315
Sul	6	0.14	321
Sudoeste	53	1.22	374
Oeste	1349	30.94	1723
Noroeste	2637	60.48	4360

**Quadro L29 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia II - sub-bacia II-1 - vertente direita**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Norte	200	81.30	200
Nordeste	8	3.25	208
Leste	0	0	208
Sudeste	0	0	208
Sul	0	0	208
Sudoeste	0	0	208
Oeste	0	0	208
Noroeste	38	15.45	246

**Quadro L30 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia II - sub-bacia I-1 - vertente esquerda**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Norte	144	56.25	144
Nordeste	106	41.41	250
Leste	3	1.17	253
Sudeste	0	0	253
Sul	0	0	253
Sudoeste	0	0	253
Oeste	0	0	253
Noroeste	3	1.17	256

**Quadro L31 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia II - sub-bacia I-2 - vertente direita**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Norte	306	83.61	306
Nordeste	39	10.66	345
Leste	1	0.27	346
Sudeste	0	0	346
Sul	0	0	346
Sudoeste	0	0	346
Oeste	0	0	346
Noroeste	20	5.46	366

**Quadro L32 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia II - sub-bacia I-2 - vertente esquerda**

<b>Classes de Orientação</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Norte	3	0.41	3
Nordeste	8	1.10	11
Leste	45	6.18	56
Sudeste	540	74.18	596
Sul	128	17.58	724
Sudoeste	1	0.14	725
Oeste	3	0.41	728
Noroeste	0	0	728

**Quadro L33 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia II - sub-bacia I-3 - vertente direita**

Classes de Orientação	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Norte	553	33.17	553
Nordeste	1094	65.63	1647
Leste	11	0.66	1658
Sudeste	2	0.12	1660
Sul	1	0.06	1661
Sudoeste	2	0.12	1663
Oeste	2	0.12	1665
Noroeste	2	0.12	1667

**Quadro L34 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia II - sub-bacia I-3 - vertente esquerda**

Classes de Orientação	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Norte	0	0	0
Nordeste	3	0.30	3
Leste	6	0.60	9
Sudeste	120	12.00	129
Sul	713	71.30	842
Sudoeste	155	15.50	997
Oeste	2	0.20	999
Noroeste	1	0.10	1000

**Quadro L35 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia II - sub-bacia I-4 - vertente direita**

Classes de Orientação	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Norte	1	0.10	1
Nordeste	53	5.63	54
Leste	599	63.66	653
Sudeste	280	29.76	933
Sul	7	0.74	940
Sudoeste	1	0.11	941
Oeste	0	0	941
Noroeste	0	0	941

**Quadro L36 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia II - sub-bacia I-4 - vertente esquerda**

Classes de Orientação	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Norte	0	0	0
Nordeste	2	0.58	2
Leste	3	0.87	5
Sudeste	9	2.60	14
Sul	147	42.49	161
Sudoeste	179	51.73	340
Oeste	6	1.73	346
Noroeste	0	0	346



**Quadro L37 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia II - sub-bacia I-5 - vertente direita**

Classes de Orientação	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Norte	52	1.90	52
Nordeste	1343	48.96	1395
Leste	1224	44.62	2619
Sudeste	55	2.01	2674
Sul	19	0.69	2693
Sudoeste	5	0.18	2698
Oeste	34	1.24	2732
Noroeste	11	0.40	2743

**Quadro L38 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia II - sub-bacia I-5 - vertente esquerda**

Classes de Orientação	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Norte	0	0	
Nordeste	6	0,86	6
Leste	80	11,41	86
Sudeste	325	46,36	411
Sul	289	41,23	700
Sudoeste	1	0,14	701
Oeste	0	0	0
Noroeste	0	0	0

**Quadro L39 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-1**

Classes de Inclinação (%)	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
0 – 5	695	7.51	695
5 – 10	1041	11.25	1736
10 – 15	1478	15.97	3214
15 – 20	1916	20.70	5130
20 – 25	1671	18.05	6801
25 – 30	1087	11.74	7888
30 – 35	601	6.49	8489
35 – 40	417	4.51	8906
40 – 45	175	1.89	9081
45 – 50	70	0.76	8151
50 – 55	61	0.66	9212
55 – 60	21	0.23	9233
60 – 65	15	0.16	9248
65 – 70	8	0.09	9256

**Quadro L40 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-2**

Classes de Inclinação (%)	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
0 – 5	746	5.22	746
5 – 10	1864	13.04	2610
10 – 15	3103	21.71	5713
15 – 20	3257	22.79	8970
20 – 25	2582	18.07	11552
25 – 30	1326	9.28	12878
30 – 35	664	4.65	13542
35 – 40	370	2.59	13912
40 – 45	151	1.06	14063
45 – 50	122	0.85	14185
50 – 55	70	0.49	14255
55 – 60	19	0.13	14274
60 – 65	6	0.04	14280
65 – 70	12	0.08	14292

**Quadro L41 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-3**

Classes de Inclinação (%)	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
0 – 5	2609	20.23	2609
5 – 10	4452	34.53	7061
10 – 15	2334	18.10	9395
15 – 20	1421	11.02	10816
20 – 25	1030	7.99	11846
25 – 30	480	3.72	12326
30 – 35	287	2.23	12613
35 – 40	169	1.31	12782
40 – 45	48	0.37	12830
45 – 50	27	0.21	12857
50 – 55	18	0.14	12875
55 – 60	12	0.09	12887
60 – 65	5	0.04	12892
65 – 70	2	0.02	12894

**Quadro L42 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-4**

Classes de Inclinação (%)	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
0 – 5	681	5.42	681
5 – 10	1461	11.63	2142
10 – 15	2130	16.95	4272
15 – 20	2017	16.05	6289
20 – 25	1564	12.45	7853
25 – 30	802	6.38	8655
30 – 35	355	2.83	9010
35 – 40	219	2.33	9229
40 – 45	86	0.91	9315
45 – 50	43	0.46	9358
50 – 55	31	0.33	9389
55 – 60	14	0.15	9403
60 – 65	2	0.02	9405
65 – 70	2	0.02	9407

**Quadro L43 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia II - sub-bacia II-1**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
0 – 5	4	0.80	4
5 – 10	92	18.33	96
10 – 15	313	62.35	409
15 – 20	83	16.53	492
20 – 25	9	1.79	501
25 – 30	1	0.20	502

**Quadro L44 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia II - sub-bacia II-2**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
0 – 5	141	12.89	141
5 – 10	405	37.02	546
10 – 15	384	35.10	930
15 – 20	138	12.62	1068
20 – 25	23	2.10	1091
25 – 30	3	0.27	1094

**Quadro L45 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia II - sub-bacia II-3**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
0 – 5	157	5.89	157
5 – 10	1427	53.51	1584
10 – 15	754	28.27	2338
15 – 20	259	9.71	2597
20 – 25	38	1.42	2635
25 – 30	17	0.64	2652
30 – 35	10	0.37	2662
35 – 40	5	0.19	2667

**Quadro L46 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia II - sub-bacia II-4**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
0 – 5	76	5.91	76
5 – 10	547	42.50	623
10 – 15	491	38.15	1114
15 – 20	140	10.88	1254
20 – 25	19	1.48	1273
25 – 30	8	0.62	1281
30 – 35	3	0.23	1284
35 – 40	3	0.23	1287

**Quadro L47 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia II - sub-bacia II-5**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
0 – 5	1036	30.08	1036
5 – 10	1458	42.33	2494
10 – 15	750	21.78	3244
15 – 20	158	4.59	3402
20 – 25	27	0.78	3429
25 – 30	10	0.29	3439
30 – 35	5	0.15	3444

**Quadro L48 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia I - vertente direita**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
0 – 5	1333	6.28	1333
5 – 10	2621	12.35	3954
10 – 15	3984	18.77	7938
15 – 20	4561	21.49	12499
20 – 25	3794	17.87	16293
25 – 30	2235	10.53	18528
30 – 35	1176	5.54	19704
35 – 40	798	3.76	20502
40 – 45	327	1.54	20829
45 – 50	177	0.83	21006
50 – 55	132	0.62	21138
55 – 60	44	0.21	21182
60 – 65	21	0.10	21203
65 – 70	10	0.05	21213

**Quadro L49 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia I - vertente esquerda**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
0 – 5	3389	13.78	3389
5 – 10	6183	25.14	9572
10 – 15	5056	20.56	14628
15 – 20	4048	16.46	18676
20 – 25	3051	12.41	21727
25 – 30	1460	5.94	23187
30 – 35	731	2.97	23918
35 – 40	377	1.53	24295
40 – 45	133	0.54	24428
45 – 50	85	0.35	24513
50 – 55	48	0.20	24561
55 – 60	22	0.09	24583
60 – 65	6	0.02	24589
65 – 70	2	0.01	24591

**Quadro L50 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia II - vertente direita**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
0 – 5	824	15.98	824
5 – 10	2562	49.70	3386
10 – 15	1387	26.91	4773
15 – 20	339	6.58	5112
20 – 25	33	0.64	5145
25 – 30	7	0.13	5152
30 – 35	3	0.06	5155

**Quadro L51 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia II - vertente esquerda**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
0 – 5	543	14.39	543
5 – 10	1345	35.64	1888
10 – 15	1307	34.63	3195
15 – 20	440	11.66	3635
20 – 25	83	2.20	3718
25 – 30	32	0.85	3750
30 – 35	16	0.42	3766
35 – 40	8	0.21	3774

**Quadro L52 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-1 - vertente direita**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
0 – 5	406	8.06	406
5 – 10	576	11.44	982
10 – 15	738	14.65	1720
15 – 20	1067	21.19	2787
20 – 25	915	18.17	3402
25 – 30	582	11.56	4284
30 – 35	326	6.47	4610
35 – 40	237	4.71	4847
40 – 45	94	1.87	4941
45 – 50	36	0.71	4977
50 – 55	30	0.60	5007
55 – 60	13	0.26	5020
60 – 65	10	0.20	5030
65 – 70	6	0.12	5036

**Quadro L53 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-1 - vertente esquerda**

Classes de Inclinação (%)	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
0 – 5	289	6.85	289
5 – 10	465	11.02	754
10 – 15	740	17.54	1494
15 – 20	849	20.12	2343
20 – 25	756	17.91	3099
25 – 30	505	11.97	3604
30 – 35	275	6.52	3879
35 – 40	180	4.27	4059
40 – 45	81	1.92	4140
45 – 50	34	0.81	4174
50 – 55	31	0.73	4205
55 – 60	8	0.19	4213
60 – 65	5	0.12	4218
65 – 70	2	0.05	4220

**Quadro L54 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-2 - vertente direita**

Classes de Inclinação (%)	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
0 – 5	449	6.44	449
5 – 10	938	13.45	1387
10 – 15	1346	19.30	2733
15 – 20	1531	21.96	4264
20 – 25	1290	18.50	5554
25 – 30	653	9.36	6207
30 – 35	338	4.85	6545
35 – 40	190	2.72	6735
40 – 45	81	1.016	6816
45 – 50	72	1.03	6888
50 – 55	50	0.73	6938
55 – 60	17	0.24	6955
60 – 65	6	0.09	6961
65 – 70	6	0.09	6967

**Quadro L55 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-2 - vertente esquerda**

Classes de Inclinação (%)	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
0 – 5	297	4.06	297
5 – 10	926	12.65	1223
10 – 15	1757	24.01	2980
15 – 20	1726	23.58	4706
20 – 25	1292	17.65	5998
25 – 30	673	9.20	6671
30 – 35	326	4.45	6997
35 – 40	180	2.46	7177
40 – 45	70	0.96	7247
45 – 50	50	0.68	7297
50 – 55	20	0.27	7317
55 – 60	2	0.03	7319

**Quadro L56 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-3 - vertente direita**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
0 – 5	939	19.01	939
5 – 10	1432	28.99	2371
10 – 15	982	19.88	3353
15 – 20	639	12.94	3992
20 – 25	439	8.89	4431
25 – 30	227	4.60	4658
30 – 35	140	2.83	4798
35 – 40	70	1.42	4868
40 – 45	31	0.63	4899
45 – 50	14	0.28	4913
50 – 55	11	0.22	4924
55 – 60	9	0.18	4933
60 – 65	4	0.08	4937
65 – 70	2	0.04	4939

**Quadro L57 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-3 - vertente esquerda**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
0 – 5	1670	20.99	1670
5 – 10	3020	37.96	4690
10 – 15	1352	17.00	6042
15 – 20	782	9.83	6824
20 – 25	591	7.43	7415
25 – 30	253	3.18	7668
30 – 35	147	1.85	7815
35 – 40	99	1.24	7914
40 – 45	17	0.21	7931
45 – 50	13	0.16	7944
50 – 55	7	0.09	7951
55 – 60	3	0.04	7954
60 – 65	1	0.01	7955
65 – 60	0	0	7955

**Quadro L58 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-4 - vertente direita**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
0 – 5	201	3.98	201
5 – 10	651	12.90	852
10 – 15	1171	23.20	2023
15 – 20	1124	22.27	3147
20 – 25	838	16.60	3985
25 – 30	496	9.83	4481
30 – 35	238	4.72	4719
35 – 40	192	3.80	4911
40 – 45	71	1.41	4982
45 – 50	35	0.69	5017
50 – 55	21	0.42	5038
55 – 60	6	0.12	5044
60 – 65	1	0	5045
65 – 70	2	0	5047

**Quadro L59 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-4 - vertente esquerda**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
0 – 5	480	11.01	480
5 – 10	810	18.58	1290
10 – 15	959	22.00	2249
15 – 20	893	20.48	3142
20 – 25	726	16.65	3868
25 – 30	306	7.02	4174
30 – 35	117	2.68	4291
35 – 40	27	0.62	4318
40 – 45	15	0.34	4333
45 – 50	8	0.18	4341
50 – 55	10	0.23	4351
55 – 60	8	0.18	4359
60 – 65	1	0.02	4360
65 – 70	0	0	4360



**Quadro L60 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia II - sub-bacia II-1 - vertente direita**

Classes de Inclinação (%)	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
0 – 5	2	0.81	2
5 – 10	28	11.38	30
10 – 15	171	69.51	201
15 – 20	41	16.67	242
20 – 25	4	1.63	246

**Quadro L61 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia II - sub-bacia II-1 - vertente esquerda**

Classes de Inclinação (%)	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
0 – 5	2	0.78	2
5 – 10	64	25.00	66
10 – 15	142	55.47	208
15 – 20	42	16.41	250
20 – 25	5	1.95	255
25 – 30	1	0.39	256

**Quadro L62 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia II - sub-bacia II-2 - vertente direita**

Classes de Inclinação (%)	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
0 – 5	16	4.37	16
5 – 10	170	46.45	186
10 – 15	136	37.16	322
15 – 20	44	12.02	366

**Quadro L63 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia II - sub-bacia II-2 - vertente esquerda**

Classes de Inclinação (%)	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
0 – 5	125	17.17	125
5 – 10	235	32.28	360
10 – 15	248	34.07	608
15 – 20	94	12.91	702
20 – 25	23	3.16	725
25 – 30	3	0.41	728

**Quadro L64 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia II - sub-bacia II-3 - vertente direita**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
0 – 5	54	3.24	54
5 – 10	1125	67.49	1179
10 – 15	367	22.01	1546
15 – 20	111	6.66	1657
20 – 25	10	0.60	1667

**Quadro L65 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia II - sub-bacia II-3 - vertente esquerda**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
0 – 5	103	10.30	103
5 – 10	302	30.20	405
10 – 15	387	38.70	792
15 – 20	148	14.80	940
20 – 25	28	2.80	968
25 – 30	17	1.70	985
30 – 35	10	1.00	995
35 - 40	5	0.50	1000

**Quadro L66 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia II - sub-bacia II-4 - vertente direita**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
0 – 5	60	6.38	60
5 – 10	396	42.08	456
10 – 15	387	41.13	843
15 – 20	92	9.78	935
20 – 25	5	0.53	940
25 – 30	1	0.10	941

**Quadro L67 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia II - sub-bacia II-4 - vertente esquerda**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
0 – 5	16	4.62	16
5 – 10	151	43.64	167
10 – 15	104	30.06	271
15 – 20	48	13.87	319
20 – 25	14	4.05	333
25 – 30	7	2.02	340
30 – 35	3	0.87	343
35 - 40	3	0.87	346

**Quadro L68 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia II - sub-bacia II-5 - vertente direita**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
0 – 5	811	29.56	811
5 – 10	1220	44.48	2031
10 – 15	582	21.22	2613
15 – 20	106	3.86	2719
20 – 25	15	0.55	2734
25 – 30	6	0.22	2740
30 – 35	3	0.11	2743

**Quadro L69 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia II - sub-bacia II-5 - vertente esquerda**

<b>Classes de Inclinação (%)</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
0 – 5	225	32.10	225
5 – 10	238	33.95	463
10 – 15	168	23.97	631
15 – 20	52	7.42	683
20 – 25	12	1.71	695
25 – 30	4	0.57	699
30 – 35	2	0.28	701

**Quadro L70 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-2**  
**vertente direita x solo PVA textura média**

Classes de Inclinação (%)	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
0 – 5	226	5,47	226
5 – 10	659	15,95	885
10 – 15	953	23,06	1838
15 – 20	1023	24,76	2861
20 – 25	773	18,71	3634
25 – 30	330	7,99	3964
30 – 35	111	2,69	4075
35 – 40	36	0,86	4111
40 – 45	14	0,34	4125
45 – 50	5	0,12	4130
50 – 55	2	0,05	4132

**Quadro L71 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-2**  
**vertente direita x solo Litossolo**

Classes de Inclinação (%)	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
0 – 5	223	7,85	223
5 – 10	279	9,82	502
10 – 15	393	13,83	895
15 – 20	508	17,88	1403
20 – 25	517	18,20	1920
25 – 30	323	11,37	2243
30 – 35	227	7,99	2470
35 – 40	154	5,42	2624
40 – 45	67	2,36	2691
45 – 50	67	2,36	2758
50 – 55	48	1,69	2806
55 – 60	17	0,60	2823
60 – 65	6	0,21	2829
65 – 70	6	0,21	2835
70 – 75	6	0,21	2841

**Quadro L72 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-2  
vertente esquerda x solo Litossolo**

Classes de Inclinação (%)	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
0 – 5	2596	47,55	2596
5 – 10	0	0	2596
10 – 15	2864	52,45	5460

**Quadro L73 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-2  
vertente esquerda x solo PVA textura argilosa**

Classes de Inclinação (%)	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
0 – 5	132	7,37	132
5 – 10	336	18,75	468
10 – 15	517	28,85	985
15 – 20	433	24,16	1418
20 – 25	229	12,78	1647
25 – 30	89	4,97	1736
30 – 35	31	1,73	1767
35 – 40	18	1,00	1785
40 – 45	5	0,28	1790
45 – 50	0	0	1790
50 – 55	2	0,11	1792

**Quadro L74 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-2  
vertente esquerda x solo LVE textura argilosa**

Classes de Inclinação (%)	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
0 – 5	9	13,43	9
5 – 10	10	14,93	19
10 – 15	13	19,40	32
15 – 20	9	13,43	41
20 – 25	7	10,45	48
25 – 30	7	10,45	55
30 – 35	4	5,97	59
35 – 40	3	4,48	62
40 – 45	2	2,99	64
45 – 50	1	1,49	65
50 – 55	2	2,98	67

**Quadro L75 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-3  
vertente direita x solo PVA textura argilosa**

Classes de Inclinação (%)	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
0 – 5	833	19,93	833
5 – 10	1090	26,08	1923
10 – 15	831	19,88	2754
15 – 20	621	14,86	3375
20 – 25	400	9,57	3775
25 – 30	196	4,69	3971
30 – 35	105	2,51	4076
35 – 40	57	1,36	4133
40 – 45	20	0,48	4153
45 – 50	10	0,24	4163
50 – 55	10	0,24	4173
55 – 60	5	0,12	4178
60 – 65	1	0,02	4179
65 – 70	1	0,02	4180

**Quadro L76 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-3  
vertente direita x solo LVE textura argilosa**

Classes de Inclinação (%)	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
0 – 5	68	12,57	68
5 – 10	329	60,81	397
10 – 15	135	24,95	532
15 – 20	7	1,29	539
20 – 25	1	0,19	540
25 – 30	1	0,19	541

**Quadro L77 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-3  
vertente direita x solo Hidromórfico**

Classes de Inclinação (%)	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
0 – 5	38	17,43	38
5 – 10	13	5,96	51
10 – 15	16	7,34	67
15 – 20	11	5,04	78
20 – 25	38	17,43	116
25 – 30	30	13,76	146
30 – 35	35	16,06	181
35 – 40	13	5,96	194
40 – 45	11	5,06	205
45 – 50	4	1,83	209
50 – 55	1	0,46	210
55 – 60	4	1,83	214
60 – 65	3	1,38	217
65 – 70	1	0,46	218

**Quadro L78 - Distribuição de frequências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-3  
vertente esquerda x solo LVE textura argilosa**

Classes de Inclinação (%)	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
0 – 5	1510	30,46	1510
5 – 10	2407	48,56	3917
10 – 15	745	15,03	4662
15 – 20	141	2,84	4803
20 – 25	76	1,53	4879
25 – 30	37	0,76	4916
30 – 35	22	0,44	4938
35 – 40	9	0,18	4947
40 – 45	4	0,08	4951
45 – 50	1	0,02	4952
50 – 55	3	0,06	4955
55 – 60	1	0,02	4956
60 – 65	1	0,02	4957

**Quadro L79 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-3  
vertente esquerda x solo Hidromórfico**

Classes de Inclinação (%)	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
0 – 5	13	5,51	13
5 – 10	33	13,98	46
10 – 15	35	14,83	81
15 – 20	50	21,19	131
20 – 25	36	15,25	167
25 – 30	22	9,32	189
30 – 35	22	9,32	211
35 – 40	18	7,63	229
40 - 45	1	0,42	230
45 – 50	4	1,69	234
50 - 55	1	0,43	235
55 – 60	1	0,43	236

**Quadro L80 - Distribuição de freqüências de inclinação - Bacia I - sub-bacia I-3  
vertente esquerda x solo PVA textura argilosa**

Classes de Inclinação (%)	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
0 – 5	147	5,32	147
5 – 10	580	21,00	727
10 – 15	572	20,71	1299
15 – 20	591	21,40	1890
20 – 25	479	17,34	2369
25 – 30	194	7,02	2563
30 – 35	103	3,73	2666
35 – 40	72	2,61	2738
40 - 45	12	0,43	2750
45 – 50	8	0,29	2758
50 - 55	3	0,11	2761
55 – 60	1	0,04	2762



**Quadro L81 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-2**  
v e r t e n t e   d i r e i t a   x   s o l o   P V A   t e x t u r a   m é d i a

Classes de Orientação	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Norte	54	1,31	54
Nordeste	42	1,02	96
Leste	127	3,07	223
Sudeste	1021	24,71	1244
Sul	1584	38,33	2828
Sudoeste	1062	25,70	3890
Oeste	219	5,30	4109
Noroeste	23	0,56	4132

**Quadro L82 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-2**  
v e r t e n t e   d i r e i t a   x   s o l o   L i t o s s o l o

Classes de Orientação	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Norte	38	1,34	38
Nordeste	28	0,99	66
Leste	105	3,70	171
Sudeste	603	21,22	774
Sul	843	29,67	1617
Sudoeste	801	28,19	2418
Oeste	329	11,58	2747
Noroeste	94	3,31	2841

**Quadro L83 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-2**  
v e r t e n t e   e s q u e r d a   x   s o l o   L i t o s s o l o

Classes de Orientação	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Norte	1953	35,77	1953
Nordeste	788	14,43	2741
Leste	61	1,12	2802
Sudeste	2	0,04	2804
Sul	8	0,14	2812
Sudoeste	103	1,88	2915
Oeste	758	13,89	3673
Noroeste	1787	32,73	5460

**Quadro L84 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-2  
vertente esquerda x solo PVA textura argilosa**

Classes de Orientação	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Norte	702	39,17	702
Nordeste	198	11,05	900
Leste	0	0	900
Sudeste	0	0	900
Sul	0	0	900
Sudoeste	12	0,67	912
Oeste	172	9,60	1084
Noroeste	708	39,51	1792

**Quadro L85 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-2  
vertente direita x solo PVA textura argilosa**

Classes de Orientação	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Norte	71	1,70	71
Nordeste	11	0,26	82
Leste	10	0,24	92
Sudeste	152	3,64	244
Sul	1728	41,34	1972
Sudoeste	1483	35,48	3455
Oeste	578	13,83	4033
Noroeste	147	3,51	4180

**Quadro L86 - Distribuição de freqüências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-2  
vertente esquerda x solo LVE textura argilosa**

Classes de Orientação	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Norte	37	55,22	37
Nordeste	5	7,46	42
Leste	0	0	42
Sudeste	0	0	42
Sul	0	0	42
Sudoeste	0	0	42
Oeste	5	7,46	47
Noroeste	20	29,86	67

**Quadro L87 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-3  
vertente direita x solo LVE textura argilosa**

Classes de Orientação	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Norte	5	0,94	5
Nordeste	0	0	5
Leste	0	0	5
Sudeste	0	0	5
Sul	53	9,80	58
Sudoeste	451	83,36	509
Oeste	15	2,76	524
Noroeste	17	3,14	541

**Quadro L88 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-3  
vertente direita x solo Hidromórfico**

Classes de Orientação	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Norte	13	5,96	13
Nordeste	7	3,22	20
Leste	0	0	20
Sudeste	0	0	20
Sul	15	6,88	35
Sudoeste	131	60,09	166
Oeste	47	21,56	213
Noroeste	5	2,29	218

**Quadro L89 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-3  
vertente esquerda x solo LVE textura argilosa**

Classes de Orientação	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Norte	242	4,88	242
Nordeste	8	0,16	250
Leste	15	0,30	265
Sudeste	39	0,79	304
Sul	447	9,02	751
Sudoeste	610	12,30	1361
Oeste	789	15,92	2150
Noroeste	2807	56,63	4957

**Quadro L90 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-3  
vertente esquerda x solo PVA textura argilosa**

Classes de Orientação	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Norte	1211	43,85	1211
Nordeste	35	1,26	1246
Leste	0	0	1246
Sudeste	0	0	1246
Sul	0	0	1246
Sudoeste	0	0	1246
Oeste	177	6,41	1423
Noroeste	1339	48,48	2762

**Quadro L91 - Distribuição de frequências de orientação - Bacia I - sub-bacia I-3  
vertente esquerda x solo Hidromórfico**

Classes de Orientação	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Norte	126	53,39	126
Nordeste	45	19,07	171
Leste	0	0	171
Sudeste	0	0	171
Sul	0	0	171
Sudoeste	0	0	171
Oeste	0	0	171
Noroeste	65	65	236

**Quadro L92 - Distribuição de frequências de solos - Bacia I**

Classes de solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Hidromórfico	2507	5.47	2507
LVE text arg	5567	12.14	8074
LVE text média	23	0.05	8097
Litossolo	8835	19.27	16932
PVA text arg	12566	27.40	29498
PVA text média	16355	35.67	45853

**Quadro L93 - Distribuição de frequências de solos - Bacia I - sub-bacia I-1**

Classes de solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Hidromórfico	465	5.02	465
LVE text arg.	0	0	465
LVE text média	23	0.25	488
Litossolo	73	0.79	561
PVA text arg.	0	0	561
PVA text média	8695	93.94	9256

**Quadro L94 - Distribuição de frequências de solos - Bacia I - sub-bacia I-2**

Classes de solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
LVE text arg.	67	0.47	67
LVE text média	0	0	67
Litossolo	8301	58.08	8368
PVA text arg.	1792	12.54	10160
PVA text média	4132	28.91	14292

**Quadro L95 - Distribuição de frequências de solos - Bacia I - sub-bacia I-3**

Classes de solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Hidromórfico	454	3.52	454
LVE text arg.	5498	42.64	5952
LVE text média	0	0	5952
Litossolo	0	0	5952
PVA text arg.	6942	53.84	12894

**Quadro L96 - Distribuição de freqüências de solos - Bacia I - sub-bacia I-4**

Classes de solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Hidromórfico	1588	16.88	1588
LVE text arg.	0	0	1588
LVE text média	0	0	1588
Litossolo	461	4.90	2049
PVA text arg.	3832	40.74	5881
PVA text média	3526	37.48	9407

**Quadro L97 - Distribuição de freqüências de solos - Bacia I - vertente direita**

Classes de solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Hidromórfico	1881	8.86	1881
LVE text arg.	0	0	1881
LVE text média	23	0.11	1904
Litossolo	2947	13.88	4851
PVA text arg.	36	0.17	4887
PVA text média	16339	76.98	21226

**Quadro L98 - Distribuição de freqüências de solos - Bacia I - vertente esquerda**

Classes de solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Hidromórfico	626	2.55	626
LVE text arg.	5565	22.63	6191
LVE text média	0	0	6191
Litossolo	5887	23.94	12078
PVA text arg.	12513	50.88	24591

**Quadro L99 - Distribuição de frequências de solos - Bacia I - sub-bacia I-1 - vertente direita**

Classes de solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Hidromórfico	375	7.45	375
LVE text arg.	0	0	375
LVE text média	0	0	375
Litossolo	16	0.32	391
PVA text arg.	0	0	391
PVA text média	4645	92.24	5036

**Quadro L100 - Distribuição de frequências de solos - Bacia I - sub-bacia I-1 - vertente esquerda**

Classes de solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Hidromórfico	90	2.13	90
LVE text arg.	0	0	90
LVE text média	23	0.55	113
Litossolo	57	1.35	170
PVA text arg.	0	0	170
PVA text média	4050	95.97	4220

**Quadro L101 - Distribuição de frequências de solos - Bacia I - sub-bacia I-2 - vertente direita**

Classes de solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Litossolo	2841	40.74	2841
PVA text arg.	0	0	2841
PVA text média	4132	59.26	6973

**Quadro L102 - Distribuição de frequências de solos - Bacia I - sub-bacia I-2 - vertente esquerda**

Classes de solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
LVE text arg.	67	0.92	67
LVE text média	0	0	67
Litossolo	5460	74.60	5527
PVA text arg.	1792	24.48	7319

**Quadro L103 - Distribuição de frequências de solos - Bacia I - sub-bacia I-3 - vertente direita**

Classes de solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Hidromórfico	218	4.41	218
LVE text arg.	541	10.95	459
LVE text média	0	0	759
Litossolo	0	0	759
PVA text arg.	4180	84.63	4939

**Quadro L104 - Distribuição de frequências de solos - Bacia I - sub-bacia I-3 - vertente esquerda**

Classes de solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Hidromórfico	236	2.97	236
LVE text arg.	4957	62.31	5193
LVE text média	0	0	5193
Litossolo	0	0	5193
PVA text arg.	2762	34.72	7955

**Quadro L105 - Distribuição de frequências de solos - Bacia I - sub-bacia I-4 - vertente direita**

Classes de solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Hidromórfico	1422	28.18	1422
LVE text arg.	0	0	1422
LVE text média	0	0	1422
Litossolo	61	1.21	1483
PVA text arg.	38	0.75	1521
PVA text média	3526	69.86	5047

**Quadro L106 - Distribuição de frequências de solos - Bacia I - sub-bacia I-4 - vertente esquerda**

Classes de solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Hidromórfico	166	3.81	166
LVE text arg.	0	0	166
LVE text média	0	0	166
Litossolo	400	9.17	566
PVA text arg.	3794	87.02	4360



**Quadro L107 - Densidade e Porosidade dos solos - Bacia I**

SOLOS	DENSIDADE (g/cm <sup>3</sup> )		POROSIDADE (%)		
	DS	DP	Total	Macro	Micro
Hidromórfico	1.15	2.42	45.74	7.07	38.66
PVA text. Argilosa - superfície	1.47	2.52	33.90	1.27	32.64
PVA text. Argilosa – 25-30cm	1.29	2.49	41.18	2.38	38.80
PVA text. Argilosa – 60cm	1.27	2.54	43.29	3.33	39.96
PVA text. Argilosa – 100cm	1.19	2.41	43.73	2.69	41.03
LVE text. Argilosa – superfície	1.43	2.44	33.19	1.86	31.33
LVE text. Argilosa – 25-30cm	1.22	2.48	43.94	3.08	40.85
LVE text. Argilosa – 60cm	1.20	2.49	45.14	2.62	42.52
LVE text. Argilosa – 100cm	1.15	2.56	49.19	3.53	45.66
Litossolo – superfície	1.48	2.58	35.01	6.90	28.11
Litossolo – 25-30cm	1.42	2.62	38.80	2.56	36.24
Litossolo – 60cm	1.33	2.62	42.71	2.84	39.87
Litossolo – 100cm	1.37	2.66	42.07	2.73	39.34
PVA text. Média – superfície	1.60	2.62	31.12	7.01	24.10
PVA text. Média – 25-30cm	1.47	2.66	37.82	11.71	26.11
PVA text. Média – 60cm	1.39	2.47	35.91	12.52	23.40
PVA text. Média – 100cm	1.30	2.41	38.47	15.36	23.11

**Quadro L108 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1978 - sub-bacia I-1**

<b>Classes de uso do solo</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
Cana-de-açúcar	3341	36.10	3341
Citrus	2588	27.96	5929
Mata	3327	35.94	9256

**Quadro L109 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1978 - sub-bacia I-2**

<b>Classes de uso do solo</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
Cana-de-açúcar	8115	56.78	8115
Citrus	0	0	8115
Mata	2286	15.99	10401
Pastagem	3891	27.23	14292

**Quadro L110 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1978 - sub-bacia I-3**

<b>Classes de uso do solo</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
Cana-de-açúcar	12778	99.10	12778
Citrus	0	0	12778
Mata	116	0.90	12894

**Quadro L111 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1978 - sub-bacia I-4**

<b>Classes de uso do solo</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
Cana-de-açúcar	4595	48.85	4595
Citrus	1072	11.40	5667
Mata	2381	25.31	8048
Pastagem	1359	14.45	9407

**Quadro L112 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1978 - vertente direita**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	10955	51.61	10955
Citrus	3660	17.24	14615
Mata	6610	31.14	21225
Pastagem	1	0	21226

**Quadro L113 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1978 - vertente esquerda**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	17847	72.58	17847
Citrus	0	0	17847
Mata	1495	6.08	19342
Pastagem	5249	21.35	24591

**Quadro L114 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1978 - sub-bacia I-1 - vertente direita**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	71	1.41	71
Citrus	2588	51.39	2659
Mata	2377	47.20	5036

**Quadro L115 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1978 - sub-bacia I-1 - vertente esquerda**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	3270	77.49	3270
Citrus	0	0	3270
Mata	950	22.51	4220

**Quadro L116 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1978 - sub-bacia I-2 - vertente direita**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	5691	81.61	5691
Citrus	0	0	5691
Mata	1282	18.39	6973

**Quadro L117 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1978 - sub-bacia I-2 - vertente esquerda**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	2424	33.12	2424
Citrus	0	0	2424
Mata	1004	13.72	3428
Pastagem	3891	53.16	7319

**Quadro L118 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1978 - sub-bacia I-3 - vertente direita**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	4930	99.82	4930
Citrus	0	0	4930
Mata	9	0.18	4939

**Quadro L119 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1978 - sub-bacia I-3 - vertente esquerda**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	7848	98.65	7848
Citrus	0	0	7848
Mata	107	1.35	7955

**Quadro L120 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1978 - sub-bacia I-4 - vertente direita**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	1941	38.46	1941
Citrus	1072	21.24	3013
Mata	2034	40.30	5047

**Quadro L121 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1978 - sub-bacia I-4 - vertente esquerda**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	2654	60.87	2654
Citrus	0	0	2654
Mata	347	7.96	3001
Pastagem	1359	31.17	4360

**Quadro L122 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1978 - sub-bacia II-1**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Citrus	432	85.71	432
Mata	72	14.29	504

**Quadro L123 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1978 - sub-bacia II-2**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Citrus	896	84.29	896
Mata	167	15.71	1063

**Quadro L124 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1978 - sub-bacia II-3**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	85	3.17	85
Citrus	2358	87.95	2443
Mata	238	8.88	2681

**Quadro L125 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1978 - sub-bacia II-4**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	1037	85.00	1037
Citrus	9	0.74	1046
Mata	174	14.26	1220

**Quadro L126 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1978 - sub-bacia II-5**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	3109	89.99	3109
Citrus	181	5.24	3290
Mata	165	4.78	3455

**Quadro L127 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1978 - vertente direita**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	2547	49.13	2547
Citrus	2407	46.43	4954
Mata	230	4.44	5184

**Quadro L128 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1978 - vertente esquerda**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	1666	45.00	1666
Citrus	1450	39.17	3116
Mata	586	15.83	3702

**Quadro L129 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1978**

**s u b - b a c i a   I I - 1   -   v e r t e n t e   d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Citrus	218	88.26	218
Mata	29	11.74	247

**Quadro L130 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1978**

**s u b - b a c i a   I I - 2   -   v e r t e n t e   e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Citrus	214	83.27	214
Mata	43	16.73	257

**Quadro L131 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1978**

**s u b - b a c i a   I I - 2   -   v e r t e n t e   d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Citrus	307	86.48	307
Mata	48	13.52	355

**Quadro L132 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1978**

**s u b - b a c i a   I I - 2   -   v e r t e n t e   e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Citrus	589	83.19	589
Mata	119	16.81	708

**Quadro L133 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1978**

**s u b - b a c i a   I I - 3   -   v e r t e n t e   d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	80	4.76	80
Citrus	1499	89.17	1579
Mata	102	6.07	1681

**Quadro L134 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1978**  
**s u b - b a c i a I I - 3 - v e r t e n t e e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	5	0.50	5
Citrus	859	85.90	864
Mata	136	13.60	1000

**Quadro L135 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1978**  
**s u b - b a c i a I I - 4 - v e r t e n t e d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	814	90.34	814
Citrus	0	0	814
Mata	87	9.66	901

**Quadro L136 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1978**  
**s u b - b a c i a I I - 4 - v e r t e n t e e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	223	69.91	223
Citrus	9	2.82	232
Mata	87	27.29	319

**Quadro L137 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1978**  
**s u b - b a c i a I I - 5 - v e r t e n t e d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	2492	90.75	2492
Citrus	181	6.59	2673
Mata	73	2.66	2746

**Quadro L138 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1978**  
**s u b - b a c i a I I - 5 - v e r t e n t e e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	617	87.02	617
Citrus	0	0	617
Mata	92	12.98	709



**Quadro L139 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1988 - sub-bacia I-1**

<b>Classes de uso do solo</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Cana-de-açúcar	3198	34,55	3198
Citrus	2595	28,04	5793
Mata	3463	37,41	9256

**Quadro L140 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1988 - sub-bacia I-2**

<b>Classes de uso do solo</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Cana-de-açúcar	10245	71,68	10245
Citrus	0	0	10245
Mata	4047	28,32	14292

**Quadro L141 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1988 - sub-bacia I-3**

<b>Classes de uso do solo</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Cana-de-açúcar	12510	97,02	12510
Citrus	0	0	12510
Mata	384	2,98	12894

**Quadro L142 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1988 - sub-bacia I-4**

<b>Classes de uso do solo</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Cana-de-açúcar	5546	58,96	5546
Citrus	1018	10,82	6564
Mata	2843	30,22	9407

**Quadro L143 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1988 - vertente direita**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	10086	47.52	10086
Citrus	3613	17.02	13699
Mata	7527	35.46	21226

**Quadro L144 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1988 - vertente esquerda**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	21387	86.97	21387
Citrus	0	0	21387
Mata	3204	13.03	24591

**Quadro L145 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1988  
s u b - b a c i a I - 1 - v e r t e n t e d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	87	1.70	87
Citrus	2595	51.60	2682
Mata	2354	46.70	5036

**Quadro L146 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1988  
s u b - b a c i a I - 1 - v e r t e n t e e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	3111	73.72	3111
Citrus	0	0	3111
Mata	1109	26.28	4220

**Quadro L147 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1988**  
**s u b - b a c i a I - 2 - v e r t e n t e d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	5179	74.27	5179
Citrus	0	0	5179
Mata	1794	25.73	6973

**Quadro L148 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1988**  
**s u b - b a c i a I - 2 - v e r t e n t e e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	5066	69.22	5066
Citrus	0	0	5066
Mata	2253	30.78	7319

**Quadro L149 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1988**  
**s u b - b a c i a I - 3 - v e r t e n t e d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	4701	95.18	4701
Citrus	0	0	4701
Mata	238	4.82	4939

**Quadro L150 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1988**  
**s u b - b a c i a I - 3 - v e r t e n t e e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	7809	98.16	7809
Citrus	0	0	7809
Mata	146	1.84	7955

**Quadro L151 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1988**  
**s u b - b a c i a I - 4 - v e r t e n t e d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	1741	34.50	1741
Citrus	1018	20.17	2759
Mata	2288	45.33	5047

**Quadro L152 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1988**  
**s u b - b a c i a I - 4 - v e r t e n t e e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	3805	87.27	3805
Citrus	0	0	3805
Mata	555	12.73	4360

**Quadro L153 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1988 - sub-bacia II-1**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Citrus	471	93.45	471
Mata	33	6.55	504

**Quadro L154 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1988 - sub-bacia II-2**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Citrus	890	83.73	890
Mata	173	16.27	1063

**Quadro L155 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1988 - sub-bacia II-3**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	69	2.57	69
Citrus	2408	89.82	2477
Mata	204	7.61	2681

**Quadro L156 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1988 - sub-bacia II-4**

<b>Classes de uso do solo</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Cana-de-açúcar	485	39.75	485
Citrus	616	50.49	1101
Mata	119	9.75	1220

**Quadro L157 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1988 - sub-bacia II-5**

<b>Classes de uso do solo</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Cana-de-açúcar	3124	90.42	3124
Citrus	196	5.67	332
Mata	135	3.91	3455

**Quadro L158 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1988 - vertente direita**

<b>Classes de uso do solo</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Cana-de-açúcar	2546	49.11	2546
Citrus	2463	47.51	5009
Mata	175	3.38	5184

**Quadro L159 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1988 - vertente esquerda**

<b>Classes de uso do solo</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Cana-de-açúcar	1114	30.09	1114
Citrus	2099	56.70	3213
Mata	489	13.21	3702

**Quadro L160 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1988  
s u b - b a c i a   I I - 1   -   v e r t e n t e   d i r e i t a**

<b>Classes de uso do solo</b>	<b>Freqüência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Freqüência acumulada</b>
Citrus	233	94.33	233
Mata	14	5.67	247

**Quadro L161 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1988**  
**s u b - b a c i a I I - 1 - v e r t e n t e e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Citrus	238	92.61	238
Mata	19	7.39	257

**Quadro L162 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1988**  
**s u b - b a c i a I I - 2 - v e r t e n t e d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Citrus	292	82.25	292
Mata	63	17.75	355

**Quadro L163 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1988**  
**s u b - b a c i a I I - 2 - v e r t e n t e e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Citrus	598	84.46	598
Mata	110	15.54	708

**Quadro L164 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1988**  
**s u b - b a c i a I I - 3 - v e r t e n t e d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	69	4.10	69
Citrus	1523	90.60	1592
Mata	89	5.29	1681

**Quadro L165 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1988**  
**s u b - b a c i a I I - 3 - v e r t e n t e e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Citrus	885	88.50	885
Mata	115	11.50	1000

**Quadro L166 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1988**  
**s u b - b a c i a   I I - 4   -   v e r t e n t e   d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	485	53.83	485
Citrus	346	38.40	831
Mata	70	7.77	901

**Quadro L167 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1988**  
**s u b - b a c i a   I I - 4   -   v e r t e n t e   e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Citrus	270	84.64	270
Mata	49	15.36	319

**Quadro L168 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1988**  
**s u b - b a c i a   I I - 5   -   v e r t e n t e   d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	2502	91.11	2502
Citrus	189	6.88	2691
Mata	55	2.00	2746

**Quadro L169 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1988**  
**s u b - b a c i a   I I - 5   -   v e r t e n t e   e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	622	87.73	622
Citrus	7	0.99	629
Mata	80	11.28	709

**Quadro L170 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998**

<b>Classes de uso do solo</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
Cana-de-açúcar	32872	71.69	32872
Citrus	2781	6.07	35653
Mata	10200	22.24	45853

**Quadro L171 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998 - sub-bacia I-1**

<b>Classes de uso do solo</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
Cana-de-açúcar	3198	34.55	3198
Citrus	2595	28.04	5793
Mata	3463	37.41	9256

**Quadro L172 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998 - sub-bacia I-2**

<b>Classes de uso do solo</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
Cana-de-açúcar	10096	70.64	10096
Citrus	0	0	10096
Mata	4196	29.36	14292

**Quadro L173 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998 - sub-bacia I-3**

<b>Classes de uso do solo</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
Cana-de-açúcar	12276	95.21	12276
Citrus	0	0	12276
Mata	618	4.79	12894

**Quadro L174 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998 - sub-bacia I-4**

<b>Classes de uso do solo</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Frequência acumulada</b>
Cana-de-açúcar	5441	57.84	5441
Citrus	1243	13.21	6684
Mata	2723	28.95	9407



**Quadro L175 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998 - vertente direita**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	12853	60.55	12853
Citrus	2780	13.10	15633
Mata	5593	26.35	21226

**Quadro L176 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998 - vertente esquerda**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	19989	81.29	19989
Citrus	0	0	19989
Mata	4602	18.71	24591

**Quadro L177 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998  
s u b - b a c i a I - 1 - v e r t e n t e d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	1940	38.52	1940
Citrus	1538	30.54	3478
Mata	1558	30.94	5036

**Quadro L178 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998  
s u b - b a c i a I - 1 - v e r t e n t e e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	3115	73.22	3115
Citrus	0	0	3115
Mata	1105	26.18	4220

**Quadro L179 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998  
s u b - b a c i a I - 2 - v e r t e n t e d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	6101	87.49	6101
Citrus	0	0	6101
Mata	872	12.51	6973

**Quadro L180 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1998**  
**s u b - b a c i a I - 2 - v e r t e n t e e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	3995	54.58	3995
Citrus	0	0	3995
Mata	3324	45.42	7319

**Quadro L181 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1998**  
**s u b - b a c i a I - 3 - v e r t e n t e d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	4742	96.01	4742
Citrus	0	0	4742
Mata	197	3.99	4939

**Quadro L182 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1998**  
**s u b - b a c i a I - 3 - v e r t e n t e e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	7534	94.71	7534
Citrus	0	0	7534
Mata	421	5.29	7955

**Quadro L183 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1998**  
**s u b - b a c i a I - 4 - v e r t e n t e d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	1734	34.36	1734
Citrus	1243	24.63	2977
Mata	2070	41.01	5047

**Quadro L184 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia I - 1998**  
**s u b - b a c i a I - 4 - v e r t e n t e e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	3707	85.02	3707
Citrus	0	0	3707
Mata	653	14.98	4360

**Quadro L185 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1998 - sub-bacia II-1**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Citrus	465	92.26	465
Mata	39	7.74	504

**Quadro L186 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1998 - sub-bacia II-2**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Citrus	919	86.45	919
Mata	144	13.55	1063

**Quadro L187 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1998 - sub-bacia II-3**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	61	2.28	61
Citrus	2374	88.55	2435
Mata	246	9.18	2681

**Quadro L188 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1998 - sub-bacia II-4**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	449	36.80	449
Citrus	675	55.33	1124
Mata	96	7.87	1220

**Quadro L189 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1998 - sub-bacia II-5**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	3067	88.77	3067
Citrus	186	5.38	3253
Mata	202	5.85	3455

**Quadro L190 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1998**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	3657	38.74	3657
Citrus	5056	53.56	8713
Mata	727	7.70	9440

**Quadro L191 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1998 - vertente direita**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	2510	48.42	2510
Citrus	2406	46.41	4916
Mata	268	5.17	5184

**Quadro L192 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1998 - vertente esquerda**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	1049	28.34	1049
Citrus	2194	59.27	3243
Mata	459	12.40	3702

**Quadro L193 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1998  
s u b - b a c i a   I I - 1   -   v e r t e n t e   d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Citrus	228	92.31	228
Mata	19	7.69	247

**Quadro L194 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1998  
s u b - b a c i a   I I - 1   -   v e r t e n t e   e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Citrus	237	92.22	237
Mata	20	7.78	257

**Quadro L195 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1998**  
**s u b - b a c i a   I I - 2   -   v e r t e n t e   d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Citrus	293	82.54	293
Mata	62	17.46	355

**Quadro L196 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1998**  
**s u b - b a c i a   I I - 2   -   v e r t e n t e   e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Citrus	626	88.42	626
Mata	82	11.58	708

**Quadro L197 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1998**  
**s u b - b a c i a   I I - 3   -   v e r t e n t e   d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	61	3.63	61
Citrus	1488	88.52	1549
Mata	132	7.85	1681

**Quadro L198 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia II - 1998**  
**s u b - b a c i a   I I - 3   -   v e r t e n t e   e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Citrus	885	88.50	885
Mata	115	11.50	1000

**Quadro L199 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1998**  
**s u b - b a c i a I I - 4 - v e r t e n t e d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	449	49.83	449
Citrus	399	44.28	848
Mata	53	5.88	901

**Quadro L200 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1998**  
**s u b - b a c i a I I - 4 - v e r t e n t e e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Citrus	276	86.52	276
Mata	43	13.48	319

**Quadro L201 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1998**  
**s u b - b a c i a I I - 5 - v e r t e n t e d i r e i t a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	2476	90.17	2476
Citrus	172	6.26	2678
Mata	98	3.57	2746

**Quadro L202 - Distribuição de freqüências de uso do solo - Bacia II - 1998**  
**s u b - b a c i a I I - 5 - v e r t e n t e e s q u e r d a**

Classes de uso do solo	Freqüência	Porcentagem	Freqüência acumulada
Cana-de-açúcar	591	83.36	591
Citrus	14	1.97	605
Mata	104	14.67	709

direita

**Quadro L203 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998  
sub-bacia I-2 - vertente direita x solo Litossolo**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	2036	71,66	2036
Citrus	0	0	2036
Mata	805	28,34	2841

**Quadro L204 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998  
sub-bacia I-2 - vertente direita x solo PVA textura média**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	4065	98,38	4065
Citrus	0	0	4065
Mata	67	1,62	4132

**Quadro L205 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998  
sub-bacia I-2 - vertente esquerda x solo LVE textura argilosa**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	57	85,07	57
Citrus	0	0	57
Mata	10	14,93	67

**Quadro L206 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998  
sub-bacia I-2 - vertente esquerda x solo PVA textura argilosa**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	1342	74,89	1342
Citrus	0	0	1342
Mata	450	25,11	1792

**Quadro L207 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998  
sub-bacia I-2 - vertente esquerda x solo Litossolo**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	2596	47,55	2596
Citrus	0	0	2596
Mata	2864	52,45	5460

**Quadro L208 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998  
sub-bacia I-3 - vertente direita x solo Hidromórfico**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	137	62,84	137
Citrus	0	0	137
Mata	81	37,16	218

**Quadro L209 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998  
sub-bacia I-3 - vertente direita x solo LVE textura argilosa**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	541	100,00	541

**Quadro L210 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998  
sub-bacia I-3 - vertente direita x solo PVA textura argilosa**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	4064	97,22	4064
Citrus	0	0	4064
Mata	116	2,78	4180



**Quadro L211 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998  
sub-bacia I-3 - vertente esquerda x solo Hidromórfico**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	46	19,49	46
Citrus	0	0	46
Mata	190	80,51	236

**Quadro L212 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998  
sub-bacia I-3 - vertente esquerda x solo PVA textura argilosa**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	2531	91,64	2531
Citrus	0	0	2531
Mata	231	8,36	2762

**Quadro L213 - Distribuição de frequências de uso do solo - Bacia I - 1998  
sub-bacia I-3 - vertente esquerda x solo LVE textura argilosa**

Classes de uso do solo	Frequência	Porcentagem	Frequência acumulada
Cana-de-açúcar	4957	100,00	4957

**Quadro L214 - Distribuição de frequências de células - Bacia I - oito planos vertentes - resolução 10m x 10m**

Planos vertentes	Número de células por vertente	Porcentagem	Número de células acumulado
I-1 direita	5036	10.98	5036
I-1 esquerda	4220	9.20	9256
I-2 direita	6973	15.21	16229
I-2 esquerda	7319	15.96	23548
I-3 direita	4939	10.77	28487
I-3 esquerda	7955	17.36	36442
I-4 direita	5047	11.01	41489
I-4 esquerda	4360	9.51	45849

**Quadro L215 - Distribuição de frequências de células - Bacia II - dez planos vertentes - resolução 10m x 10m**

Planos vertentes	Número de células por vertente	Porcentagem	Número de células acumulado
II-1 direita	247	0.02	247
II-1 esquerda	257	0.02	504
II-2 direita	355	0.04	859
II-2 esquerda	708	0.07	1567
II-3 direita	1681	0.17	3248
II-3 esquerda	1000	0.10	4248
II-4 direita	901	0.09	5149
II-4 esquerda	319	0.03	5468
II-5 direita	2746	0.28	8214
II-5 esquerda	709	0.07	8923

**Quadro L216 - Distribuição de frequências de células - Bacia I - dois planos vertentes - resolução 10m x 10m**

Planos vertentes	Número de células por vertente	Porcentagem	Número de células acumulado
I direita	21226	46.33	21226
I esquerda	24591	53.67	45817

**Quadro L217 - Distribuição de frequências de células - Bacia II - dois planos vertentes - resolução 10m x 10m**

<b>Planos vertentes</b>	<b>Número de células por vertente</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Número de células acumulado</b>
II direita	5184	58.34	5184
II esquerda	3702	41.66	8886

**Quadro L218 - Distribuição de frequências de células - Bacia I - quatro sub-bacias - resolução 10m x 10m**

<b>Sub-bacias vertentes</b>	<b>Número de células por sub-bacia</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Número de células acumulado</b>
I-1	9256	20.19	9256
I-2	14292	31.17	23548
I-3	12894	28.12	36442
I-4	9407	20.52	45849

**Quadro L219 - Distribuição de frequências de células - Bacia II - cinco sub-bacias - resolução 10m x 10m**

<b>Sub-bacias vertentes</b>	<b>Número de células por sub-bacia</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Número de células acumulado</b>
II-1	504	5.65	504
II-2	1063	11.91	1567
II-3	2681	30.04	4248
II-4	1220	13.67	5468
II-5	3455	38.72	8923